

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta
Sähkötekniikan laitos

Ina Lehto

Mikrotuotannon liittäminen yleiseen sähkönjakeluverkkoon

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin
tutkintoa varten Espoossa 1.10.2009

Työn valvoja Professori Matti Lehtonen

Työn ohjaaja DI Elina Lehtomäki

Tekijä: Ina Lehto**Työn nimi:** Mikrotuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon**Päivämäärä:** 1.10.2009**Sivumäärä:** 8 + 101**Tiedekunta:** Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta**Laitos:** Sähkötekniikan laitos**Professori:** S-18 Sähköverkot ja suurjännitetekniikka**Työn valvoja:** TkT Matti Lehtonen**Työn ohjaaja:** DI Elina Lehtomäki

Työssä selvitetään pienimuotoisen sähköntuotannon nykytilaa Suomessa ja potentiaalia tulevaisuudessa. Työ kokoaa yhteen hyvin pienimuotoista tuotantoa, eli mikrotuotantoa, koskevat vaatimukset ja säädökset. Työssä käydään läpi vaatimuksia ja pohditaan onko niissä korjattavaa. Työn tuloksista laaditaan kokoava ohjeistus mikrotuotannon verkkoon liittämisestä verkkoyhtiöille, laitevalmistajille, asentajille sekä tuotantolaitteistojen omistajille.

Työ kokoaa tietoa Euroopan maista, joissa pienimuotoista tuotantoa on merkittäviä määriä. Näiden tietojen pohjalta voidaan ennustaa, että pienimuotoisen tuotannon määrä tulee Suomessa kasvamaan maltillisesti, mutta muutokset pienimuotoisen tuotannon tukemisessa tai laitteiden hinnassa sekä EU:n asettamat paineet uusiutuvan tuotannon lisäämiseksi voivat johtaa myös hyvin nopeaan kasvuun.

Työssä määritellään mikrotuotannoksi tuotanto, joka tuotetaan ensisijaisesti kohteen omaan kulutuskäyttöön, ja verkkoon syöttö on satunnaista tai vähäistä. Markkinoilla on sekä yksi- että kolmivaiheisia mikrotuotantolaitoksia. Työssä on määritelty yksivaiheiselle tuotannolle kokorajaksi 16 A.

Hajautettu tuotanto asettaa haasteita jakeluverkon suojauksen toiminnalle. Työ esittelee tyypillisimmät suojausongelmat. Työssä havaitaan, että mikrotuotanto voi tietyissä vikatilanteissa aiheuttaa verkon viattoman osan turhan irtoamisen verkosta. Verkonhaltijan tulee tiedostaa mahdolliset suojausriskit mikrotuotantoa liitettäessä.

Saarekekäytön estoa koskevat vaatimukset standardeissa ovat Suomen osalta tällä hetkellä laitevalmistajien mukaan epärealistisia. Työssä on päädytty ehdottamaan esimerkiksi Tanskassakin käytössä olevan ROCOF (Rate of Change of Frequency) –releen käyttöä suojauksessa.

Työssä havaitaan, että mikrotuotantolaitosten on vaikeaa myydä sähköään markkinoille. Työssä on pohdittu erilaisia vaihtoehtoja markkinoille pääsyn helpottamiseksi ja todettu, että käyttökelpoisin malli olisi sellainen, jossa kulutuskohteen sähkön myyjä tekisi kohteen kanssa sopimuksen, jossa se sitoutuu ostamaan kulutuskohteessa tuotetun sähkön ja huolehtimaan sen tasehallinnasta.

Avainsanat: Mikrotuotanto, hajautettu sähköntuotanto, Loss of Mains –suojaus, EN 50438, jakeluverkon suojaus, yksivaiheinen tuotanto.

Author: Ina Lehto**Name of the thesis:** Connecting very small scale electricity production to the public distribution network in Finland**Date:** 1.10.2009**Pages:** 8 + 101**Faculty:** Faculty of Electronics, Communications and Automation**Department:** Department of electrical engineering**Professorship:** S-18 Power systems and high voltage engineering**Supervisor:** Matti Lehtonen Dr.Sc.(Tech.)**Instructor:** Elina Lehtomäki M.Sc.(Tech.)

This thesis gathers information about the state of small scale electricity production in Finland, and the technical demands for connecting very small scale production aka microgeneration to the network. The results of this thesis are gathered as a technical brief for network operators, product manufacturers, electricians and the owners of microgenerating facilities.

Thesis also gathers information from a few European countries where there is more small scale electricity production than in Finland. From this information it can be predicted that the amount of small scale electricity production in Finland is going to rise slowly, but if there are changes in the energy support systems or demands from EU legislation, growth may be rapid.

In this thesis it is considered that microgeneration only includes facilities that produce electricity mainly to own use and to sell electricity is only a secondary goal. The technical limit of one phase production was set to 16 A.

Distributed generation affects distribution networks protecting methods. Thesis gathers most common network protecting problems caused by distributed generation. In Thesis it is seen that microgeneration might cause sympathetic tripping of a network part in certain network fault situations. The Thesis underlines that network operators should be aware of the protection problems when attaching microgeneration, and they should acknowledge the risk involved.

In standards Loss of Mains -protection in Finland is implemented with methods that are not realistic in opinion of the product manufacturers. A possible solution could be using ROCOF-relay for Loss of Mains -protection as in Denmark.

Thesis shows out that selling microgenerated electricity to markets is difficult. Thesis introduces that the easiest way to sell the electricity would be that an electricity selling company would make a deal with its consumer customer with microgeneration that it would buy the extra electricity.

Keywords: Microgeneration, distributed generation, One phase electricity production, Loss of Mains –protection, EN 50438, protection of distribution network.

Esipuhe

Tämä työ tehtiin Energiateollisuus ry:ssä vuoden 2009 aikana opinnäytetyöksi Teknillisen korkeakoulun Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunnan Sähkötekniikan laitokselle. Työn rahoitti Energiateollisuus ry.

Haluan kiittää kaikkia tässä työssä mukana olleita tahoja, sekä kaikkia yksityishenkilöitä, jotka ovat mahdollistaneet tämän työn valmistumisen.

Suuri kiitos kuuluu Energiateollisuus ry:n Elina Lehtomäelle työn asiantuntevasta ohjauksesta. Haluan kiittää myös työn aikaista esimiestäni Kenneth Hännistä mielenkiintoisesta aiheesta sekä Teknillisen korkeakoulun professori Matti Lehtosta työn valvonnasta.

Kiitoksen ovat ansainneet myös muu Energiateollisuus ry:n henkilöstö, joka auttoi minua työn tavoitteiden saavuttamisessa. Haluan kiittää myös kaikkia työssä mukana olleita yhteistyötahoja: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STULia, Turvatekniikan keskus TUKESia, useita verkkoyhtiöitä, laitevalmistajia, yhdistyksiä sekä muita työn valmistumista edistäneitä tahoja.

Haluan kiittää myös Pyryä, joka sai työn viime metreillä sukunimensä myös työn kanteen. Kiitos myös kaikille ystäväilleni ja sukulaisilleni, jotka ovat tukeneet minua opiskeluissani ja valmistumisessani. Erityiskiitos kuuluu Veikko Sommalle ja hänen oppilailleen diplomityön valmistumisen kannalta tuiki tärkeästä ajo-opetuksesta.

Espoossa 1.10.2009

Ina Lehto

Sisällysluettelo

ESIPUHE	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
SYMBOLIT, LYHENTEET JA TERMIT.....	8
1 JOHDANTO.....	1
2 PIENIMUOTOISEN TUOTANNON MÄÄRITTELY	4
2.1. PIENIMUOTOISEN SÄHKÖNTUOTANNON MÄÄRITTELY	4
2.1.1. Mikrotuotanto.....	5
2.2. TUOTANTOMUOTOJA.....	6
2.2.1. Aurinkovoima	6
2.2.2. Vesivoima	6
2.2.3. Tuulivoima.....	6
2.2.4. Biovoimalat	7
3 PIENIMUOTOISEN SÄHKÖNTUOTANNON TILANNE SUOMESSA	8
3.1. TUULIVOIMA.....	8
3.1.1. Laitevalmistajien kommentteja.....	9
3.2. AURINKOVOIMA.....	10
3.3. PIENVESIVOIMA	11
3.4. VERKKOYHTIÖKYSELY	11
4 KANSAINVÄLINEN VERTAILU	13
4.1. ESPANJA	13
4.1.1. Pienimuotoisen tuotannon yleistilanne.....	14
4.1.2. Pienimuotoisen tuotannon tuet ja markkinoille pääsy.....	14
4.1.3. Verkkoon pääsy ja liittyminen	15
4.2. SAKSA.....	18
4.2.1. Pienimuotoisen tuotannon yleistilanne.....	18
4.2.2. Pienimuotoisen tuotannon tuet ja markkinoille pääsy.....	19
4.2.3. Verkkoon pääsy ja liittyminen	20
4.3. TANSKA	21
4.3.1. Pienimuotoisen tuotannon yleistilanne.....	21
4.3.2. Pienimuotoisen tuotannon tuet ja markkinoille pääsy.....	22
4.3.3. Verkkoon pääsy ja liittäminen.....	23
4.4. ITÄVALTA	24
4.4.1. Pienimuotoisen tuotannon yleistilanne.....	24
4.4.2. Pienimuotoisen tuotannon tuet ja markkinoille pääsy.....	25
4.4.3. Verkkoon pääsy ja liittäminen.....	25
4.5. VERTAILU	26
4.5.1. Taloudelliset tuet ja helpotukset.....	26
4.5.2. Tekniset vaatimukset.....	27
5 PIENIMUOTOISTA TUOTANTOA KOSKEVAT SÄÄDÖKSET.....	29
5.1. LIITTÄMINEN JA MAKSUPERIAATTEET.....	29
5.2. MITTAUS.....	30
5.2.1. Mittauksen vastuut ja mittarin ominaisuudet	31
5.2.2. Kustannukset	31
5.3. VERKONHALTIJAN JA SÄHKÖNTUOTTAJAN VÄLISET SOPIMUKSET	32
5.4. VEROVELVOLLISUUS	33

5.5.	MARKKINOILLE PÄÄSY	33
5.6.	YLIJÄÄMÄSÄHKÖÖN SUHTAUTUMINEN	34
6	MIKROTUOTANNON MÄÄRITTELEMINEN	35
6.1.	TEKNINEN RAJA YKSIVAIHEISELLE TUOTANNOLLE	35
6.2.	MIKROTUOTANNON YLEINEN MÄÄRITTELY	36
7.	VAATIMUKSET LAITTEISTOILLE	37
7.1.	YLEISTÄ.....	37
7.2.	VERKKOON SYÖTTÖTAVAT	38
7.2.1.	<i>Staatitset tehokonvertterit eli invertterit.....</i>	38
7.2.2.	<i>Epätahtigeneraattorit.....</i>	38
7.2.3.	<i>Tahtigeneraattorit</i>	39
7.3.	SUOJAUKSEN ASETTAMAT VAATIMUKSET LAITTEISTOLLE	39
7.3.1.	<i>Liittymän yleissuojaus</i>	40
7.3.2.	<i>Loss of Mains -suojauus.....</i>	42
7.4.	EMC- JA SÄHKÖN LAATUVAATIMUKSET LAITTEISTOLLE	43
7.4.1.	<i>Nopeat jännitemuutokset ja välkyntä.....</i>	44
7.4.2.	<i>Epäsymmetria.....</i>	44
7.4.3.	<i>Harmoniset yliaaltojännitteet.....</i>	45
7.4.4.	<i>Epäharmoniset yliaaltojännitteet</i>	46
7.4.5.	<i>Jännitekuopat ja lyhyet keskeytykset</i>	46
7.4.6.	<i>Taajuusvaihtelut.....</i>	47
8	VERKON SUOJAUS.....	48
8.1.	OIKOSULKUVIRTOJEN VAIKUTUS	48
8.2.	SUOJAUKSEN SOKAISTUMINEN	49
8.3.	MIKROTUOTANTOLAITOKSEN AIHEUTTAMA VIRHELAAKAIKU	50
8.4.	MIKROTUOTANNON VAIKUTUS ESIMERKKIVERKKOJEN SUOJAAKSEEN	52
8.4.1.	<i>Case suojauksen sokaistuminen verkon oikosulussa.....</i>	52
8.4.2.	<i>Case virhelaukaisu verkon oikosulussa</i>	58
8.4.3.	<i>Johtopäätökset.....</i>	61
8.5.	LOSS-OF-MAINS –TILANTEEN ELI SAAREKEKÄYTÖN HAVAITSEMINEN	61
8.6.	JÄLLEENKYTKENNÄT	62
8.7.	MAASULKUJEN HAVAITSEMINEN	63
8.8.	JAKELUVERKON SUOJAUS TULEVAISUUDESSA	63
9	SÄHKÖTURVALLISUUU JA SÄHKÖTYÖTURVALLISUUU.....	65
9.1.	ASENNUSTURVALLISUUU	65
9.2.1.	<i>Merkitseminen.....</i>	65
9.2.2.	<i>Työmenetelmät</i>	66
9.2.	TURVALLISUUU ASENNUSKIINTEISTÖSSÄ	66
10	MIKROTUOTANNON TASEHALLINTA JA MARKKINOILLE PÄÄSY.....	68
10.1.	TASEHALLINTA	68
10.2.	TASESELVITYS	69
10.3.	MIKROTUOTANNON MARKKINOILLE PÄÄSY JA TASEHALLINTA.....	71
10.3.1.	<i>Nykytilanne eli häviösähkömalli.....</i>	72
10.3.2.	<i>Mikrotuotantolaitos markkinatoimijana.....</i>	73
10.3.3.	<i>Aggregointi-malli.....</i>	73
10.3.4.	<i>Sähkön myyjä tarjoaa ostotuotteen.....</i>	74
11	KOONTIA OHJEISTUKSEEN	76
12	YHTEENVETO	80
	LÄHTEET	82

LIITTEET.....	87
LIITE A VTT:N TUULIVOIMATILASTO 12/2008	87
LIITE B VERKKOYHTIÖKYSELY	89
LIITE C TONTTUVUOREN MUUNTOPIIRI	91
LIITE D SUURINIEMEN MUUNTOPIIRI	94
LIITE E URHEILUTIEN MUUNTOPIIRI	97
LIITE F DRAKA OY:N JOHTAVUUSTIEDOT AMKA- JA AXMK-KAAPELEILLE.....	101

Symbolit, lyhenteet ja termit

Symboli

I_r

I_{tot}

S_g

S_N

U_N

U_1/U_2

R_j, X_j

R_m, X_m

Z_{tot}

Z_g, Z_j, Z_m

r_k

z_k

Selitys

Releen tai sulakkeen läpi kulkeva virta

Kokonaisoikosulkuvirta

Generaattorin näennäisteho

Muuntajan nimellinen näennäisteho

Nimellisjännite

Muuntajan jänniteasettelu

Johdon oikosulkuresistanssi ja -reaktanssi

Muuntajan oikosulkuresistanssi ja -reaktanssi

Kokonaisoikosulkuimpedanssi

Generaattorin, johdon ja muuntajan oikosulkuimpedanssit

Muuntajan oikosulkuresistanssi suhteellisarvona

Muuntajan oikosulkuimpedanssi suhteellisarvona

Lyhenne

Ah

CENELEC

CHP

EMC

EU

FCL

IEC

MVA

MW

MWh

ROCOF-rele

THD

TUKES

UIE

Selitys

Ampeeritunti

European Committee for Electrotechnical Standardization

Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto (Combined Heat and Power)

Sähkömagneettinen yhteensopivuus (Electromagnetic compatibility)

Euroopan Unioni

Vikavirtarajoitin (Fault Current Limiter)

International Electrotechnical Commission

Megavoltiampeeri

Megawatti

Megawattitunti

Taajuuden muutosnopeutta tarkasteleva rele (Rate of Change of Frequency -relay)

Harmoninen kokonaisasäro (Total Harmonic Distortion)

Turvatekniikan keskus

International Union for Electricity Applications

Termi

Aggregoija

Grid Code

Loss of Mains (LoM)

Preemio

Selitys

Taho, joka kokoaa sähkön pientuotantoa yhdeksi suuremmaksi tuotantokokonaisuudeksi

Ohjeistus tai säädös, joka liittyy sähköverkon hallintaan, siihen liittymiseen tai sen käyttöön

Verkon jännitteen katoaminen tilanteessa, jossa generaattori voi jäädä yksi syöttämään verkon saareketta

Hintaero markkinahinnan ja sovitun tariffihinnan välillä

1 Johdanto

Nykyiset sähköjärjestelmät on suunniteltu toimimaan siten, että sähkö tuotetaan keskitetysti suurissa tuotantolaitoksissa ja siirretään sitten sähköverkon välityksellä kuluttajalle. Kasvanut energian hinta, ympäristöarvot, EU:n asettamat uusiutuvan energian lisäys- ja ilmastotavoitteet sekä pienten energiantuotantolaitosten hintojen halpeneminen ovat kuitenkin lisänneet kiinnostusta sähkön lähituotantoon. Tällainen lähellä kulutusta tapahtuva pienimuotoinen hajautetusti sijoitettu sähköntuotanto asettaa haasteita perinteiselle sähköverkolle.

Pienimuotoisen hajautetun sähköntuotannon verkkovaikutuksia on tutkittu vasta vähän aikaa, ja kiinnostus asiaa kohtaan on kasvamassa. Hajautetun tuotannon vaikutusten tutkiminen onkin erittäin ajankohtaista ja tarpeellista. Tällä hetkellä hajautetun tuotannon nopea lisääntyminen näyttää varmalta. Samalla tietoisuus hajautetun tuotannon verkkovaikutuksista kasvaa.

Suomen sähköjakeluverkolle hajautetun sähköntuotannon lisääntyminen tarkoittaa, että verkon suunnittelufilosofiaa on mietittävä uudelleen. Hajautettuun tuotantoon liittyy paljon odotuksia ja toiveita useilta eri tahoilta. Ongelmia voi syntyä mikäli eri tahojen intressit eivät kohtaa.

Hajautetussa sähköntuotannossa käytettävät tuotantomuodot ovat usein uusiutuvaa tuotantoa tai muuten ympäristöystävällisempää kuin esimerkiksi hiililauhde. Hajautetun tuotannon lisääntyminen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja auttaa Suomea lisäämään uusiutuvien tuotantomuotojen osuuttaan kokonaistuotannosta sekä lisäämään energiaomavaraisuutta. Hajautettu tuotanto ei automaattisesti tarkoita puhdasta energiaa, mutta se mahdollistaa sellaisten tuotantomuotojen käytön, jotka suuremmassa mittakaavassa eivät olisi mahdollisia. Hajautettu sähköntuotanto yhdistetäänkin useimmiten tuuli-, aurinko- ja pienvesivoimaan sekä biopolttoaineita käyttäviin tuotantolaitoksiin.

Sähkön hinnan nousu kasvattaa kiinnostusta hajautettua sähköntuotantoa kohtaan. Hajautettu pientuotantolaitos on helppo ja nopea pystyttää, ja takaisinmaksuajatkin ovat nykyisin suhteellisen lyhyitä. Pienisähkötuottajalle tuotannon hyöty on taloudellinen, kun tuottaja voi pienentää omaa sähkölaskuaan. Verkonhaltijan kannalta hajautettu tuotanto asettaa uusia haasteita ja kustannuksia verkolle, mutta se voi myös parantaa verkon luotettavuutta ja jännitetasoja pitkien yhteyksien päissä. Myös ekologiset ja eettiset tekijät ohjaavat kuluttajia enenevässä määrin. Esimerkiksi oma pieni aurinkovoimala voi kilpailla ympäristöarvoilla ja mielikuvilla pistorasiasta ostettavan ydinvoimalla tai hiililauhteella tuotettavan sähkön kanssa.

Hajautetussa sähköntuotannossa on mukana useita eri tahoja, joilla kaikilla on omat tavoitteensa. Tärkeimpänä yksittäisenä tahona on tuotantolaitoksen omistaja eli sähköntuottaja. Verkonhaltijan rooli on myös olennainen. Verkonhaltija tarjoaa tuotannolle luotettavan verkon ja takaa sähkön jakelun toiminnan ja turvallisuuden myös

liittämisen jälkeen. Lisäksi hajautetun tuotantolaitoksen valmistajalla tai myyjällä on tärkeä rooli. Myös yhteiskunnalla on oma roolinsa, sillä hajautettu tuotanto on kiinnostavaa poliittisesti. Yhteiskunta määrittää verotukseen, tukiin, lupiin ja lainsäädäntöön liittyvät asiat.

Pienimuotoisen hajautetun tuotannon määrittäminen ei ole yksiselitteinen asia. Määritelmä voidaan tehdä monesta näkökulmasta. Hajautettu tuotanto määritellään usein generaattorin tehon mukaan. Usein käytetään myös tiettyä jänniterajaa.

Kokonaisuudessaan hajautetun tuotannon verkkoon liittämisen tilanne on hämmentävä, sillä vaatimuksia, Grid Codeja, uusia tekniikoita ja ratkaisemattomia ongelmia on paljon. Myös eri maiden välillä vaatimukset vaihtelevat suuresti.

Energiateollisuus ry on teettänyt tämän selvitystyön helpottaakseen jakeluverkonhaltijan työtä tilanteissa, joissa jakeluverkkoon halutaan liittää pienimuotoisia tuotantolaitoksia hajautetusti. Selvityksen pohjalta laaditaan käytännön ohjeistus verkonhaltijalle siitä, kuinka liityntäprosessi kulkee, ja mitä asioita liittyjältä tulee vaatia. Ohjeistus helpottaa myös pientuotantolaitteiden valmistajia sekä yksityisiä kuluttajia, kun he voivat helposti jo edeltä käsin tutustua tarvittaviin vaatimuksiin. Myös sähköurakoitsijat ja -asentajat hyötyvät ohjeistuksesta, kun he saavat selkeän toimintamallin, jonka mukaan pieniä tuotantolaitoksia liitetään verkkoon.

Selvitystyön on teettänyt ja rahoittanut Energiateollisuus ry. Yhteistyötä selvityksen aikana on tehty muun muassa useiden verkonhaltijoiden, Turvatekniikan keskuksen, useiden laitevalmistajien ja yhdistysten sekä Sähkö- ja teleurakoitsijaliiton kanssa.

Tätä työtä varten on rajauduttu tarkastelemaan vain erittäin pienimuotoista, niin kutsuttua mikrotuotantoa. Työssä onkin tärkeää määritellä ensin, mitä käsitetään mikrotuotannolla. Lisäksi on teknisesti tärkeää määrittää, minkä kokoisen laitoksen saa liittää verkkoon yksivaiheisena.

Työn päätavoitteena on selvittää pienimuotoisen hajautetun tuotannon tilaa ja sille asetettuja vaatimuksia. Työn tarkoituksena on kerätä tarvittavia tietoja, jotta voidaan laatia ohjeistus mikrotuotannon verkkoon liittymiskäytännöistä ja teknisistä vaatimuksista jakeluverkkoyhtiöitä varten. Työssä käydään läpi ja tarkastellaan kriittisesti sellaisten maiden ohjeita ja käytäntöjä, joilla on enemmän kokemusta hajautetusta tuotannosta, ja otetaan hyvistä ratkaisuksista oppia myös Suomeen. Työssä myös kartoitetaan pientuotannon nykytilaa Suomessa sekä pyritään hahmottamaan, miten hajautettu tuotanto kehittyy tulevaisuudessa.

Työssä käsitellään tuotantolaitoksen asettamia vaatimuksia kolmesta näkökulmasta. Ensin käydään läpi, millaiset vaatimukset tuotantolaitteiston on täytettävä. Erikseen käsitellään, millaisia uusia vaatimuksia hajautettu tuotanto asettaa verkon suojaukselle. Lisäksi tarkastellaan sähköturvallisuuden ja sähkötyöturvallisuuden asettamia vaatimuksia.

Hajautetun tuotannon tasehallinta ei ole ongelmaton. Työn lopussa on lyhyesti käsitelty tasehallintaan ja tasevastuisiin liittyviä kysymyksiä sekä pohdittu ratkaisuja ilmenneisiin ongelmiin. Tasehallintaa tutkitaan kuitenkin vain pintapuolisesti ja tarkempi tutkimus aiheesta onkin tarpeellista.

2 Pienimuotoisen tuotannon määrittely

Tässä luvussa määritellään, mitä tässä työssä käsitetään pienimuotoiseksi sähköntuotannoksi. Määrittelemisen avuksi on esitelty eri tahojen olemassa olevia määritelmiä. Tässä luvussa on myös esitelty pienimuotoisessa sähköntuotannossa yleisesti käytössä olevia tuotantomuotoja.

Tässä luvussa käsitellään siis kaikkea pienimuotoista sähköntuotantoa. Pienimuotoinen tuotanto pitää sisällään myös mikrotuotannon. Varsinainen mikrotuotannon määrittely tehdään luvussa 6.

2.1. Pienimuotoisen sähköntuotannon määrittely

Pienimuotoisen tuotannon koolle ei ole selkeää yksiselitteistä määritelmää. Määritelmänä voidaan käyttää voimalaitoksen sähkötehoa tai esimerkiksi verkon jännitetasoa tai liittymän sulakekokoa. Tehoraja voidaan määritellä joko pätötehon (MW) tai näennäistehon (MVA) perusteella.

Seuraavaksi käydään läpi eri tahojen selvityksiä ja ohjeita sekä lainsäädännön asettamia rajoja pienimuotoiselle tuotannolle:

- Sähkömarkkinalain [1] mukaan pienimuotoisella sähköntuotannolla tarkoitetaan sähköntuotantolaitosta tai usean sähköntuotantolaitoksen muodostamaa kokonaisuutta, jonka teho on enintään 2 MVA.
- Valtioneuvoston asetus sähkömarkkinoista [2] sanoo, että voimalaitoksen haltijan tulee ilmoittaa sähkömarkkinaviranomaisille teholtaan vähintään 1 MVA:n suuruisen voimaloiden rakentamis- ja tehonkorotuspäätöksistä sekä käytöstä poistamisista.
- Valtioneuvoston asetus sähkömarkkinoista [2] sanoo myös, että jakeluverkonhaltijan yksittäiseen liittymään sijoittuvalta sähköntuotannolta veloittama siirtomaksu ei saa ylittää keskimäärin 0,07 c/kWh vuodessa. Tämä sanamuoto rajaa siirtomaksuhelpotuksen piiriin jakeluverkkoihin, eli pien- ja keskijänniteverkkoihin, liittyneet tuotantolaitokset. Tässä mielessä asetus käyttää rajauksena verkon jännitetasoa.
- Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta sanoo, ettei sähkön valmisteveroa ja huoltovarmuusmaksua suoriteta alle 2 MVA:n tehoisella generaattorilla tuotetusta sähköstä, jos sitä ei siirretä sähköverkkoon [3].
- Laki sähkön valmisteverosta sanoo myös, että vesivoimala saa olla nimellisteholtaan enintään 1 MVA, jotta se voi saada sähköntuotannon tukea [4].

- Fingridin mukaan alle 1 MVA kokoisten generaattoreiden tuotantoa ei huomioida, kun lasketaan kantaverkkotariffin kulutusmaksun perusteena olevaa sähkömäärää [5].
- Energiamarkkinavirasto pitää yllä voimalaitosrekisteriä, jossa ei ole tietoja alle 1 MVA laitoksista [6].
- VTT on tutkimusraportissaan ehdottanut käytettäväksi pienimuotoiselle sähköntuotannolle seuraavaa määritelmää: ”Pienvoimala on sähköntuotantolaitos, joka on liitetty verkonhaltijan pien- tai keskijänniteverkkoon tai siihen liitettyyn asiakkaan verkkoon.” [7]

Olemassa olevissa määritelmissä käytetään sekä jännitetasoa että tehorajaa. Tehoraja voi aiheuttaa ongelmia, jos tuet tai velvollisuudet ovat erilaiset tehorajan eri puolilla. Esimerkiksi jos tehoraja on 1 MVA, on rajaa helppo kiertää liittämällä useita laitoksia rinnan. Tehoraja tuleekin määrittää siten, että useammat, yhteen pisteeseen liittyvät laitokset nähdään yhtenä laitost kokonaisuutena. Toisaalta jänniteportaan mukaan määriteltäessä pienimuotoisen tuotannon ulkopuolelle jäisivät suurempiin teollisuuslaitoksiin integroidut alle 1 MVA voimalaitokset. Sama ongelma tulee vastaan, jos pienimuotoinen tuotanto määritellään sulakekoon mukaan. Molemmissa määrittelytavoissa on siis ongelmansa.

Sähkömarkkinalaki määrittää pienimuotoisen tuotannon kokorajaksi 2 MVA. Tämä on pätevä määritelmä pienimuotoiselle tuotannolle. Tässä työssä selvitettiin pienimuotoisten voimalaitosten määrää Suomessa. Voimalaitoskyselyn tehorajaksi asetettiin 1 MVA nimellisteho. Tämä raja asetettiin siksi, että yli 1 MVA:n laitoksista löytyy jo luotettavaa tilastointia, eli Energiamarkkinaviraston voimalaitosrekisteri [6]. Alle 1 MVA:n tuotantoa ei ole kattavasti tilastoitu. Voimalaitosten määrää tiedusteltiin ainoastaan jakeluverkkoyhtiöiltä. Tässä mielessä työssä tehdyissä kyselyissä käytettiin rajauksena sekä tehoa että liittymän jännitetasoa.

2.1.1. Mikrotuotanto

Pienimuotoinen tuotanto pitää sisällään myös mikrotuotantoa, joka on merkittävästi pienimuotoisempaa. Tässä työssä on lähdetty siitä, että mikrotuotanto on tuotantoa, joka on tarkoitettu tuottamaan ensisijaisesti kulutuskohteen omaan käyttöön ja toissijaisesti verkkoon. Työn alkuosa käsittelee pienimuotoista tuotantoa kokonaisuudessaan ja työn loppuosa, luvusta 6. eteenpäin, pelkästään mikrotuotantoa. Mikrotuotannon tarkempi määritelmä on tehty luvussa 6. Samassa luvussa on määritelty myös kokoraja yksivaiheisen tuotannon liittämiseksi.

2.2. Tuotantomuotoja

Tässä aliluvussa esitellään erilaisia tuotantomuotoja, jotka ovat laajalti käytössä tai merkittävästi yleistymässä pienimuotoisessa sähköntuotannossa. Tuotantomuodoista esitellään sähköntuotantotapa, tyypillinen tuotantolaitteisto, tyypillinen verkkoon syöttötapa sekä arvio yksittäisen laitoksen tehontuotosta.

2.2.1. Aurinkovoima

Aurinkokenno on puolijohdekomponentti, joka tuottaa tasasähköä valosähköiseen ilmiöön perustuen. Aurinkokennot tehdään kiteistä, monikiteistä tai amorfisesta piistä. Aurinkosähköpaneeli koostuu useista sarjaan kytketyistä kennoista. [8]

Energian varastointiin käytetään akkua. Tyypillinen akkujännite on 6, 12 tai 24 V. Akku on kiinni ohjausyksikössä, joka huolehtii akkujen latauksesta. Lataussäädin säätelee järjestelmän jännitettä. [8]

Aurinkopaneelistot tuottavat tasavirtaa, joten verkkoonkytkennöissä on käytettävä vaihtosuuntaajaa eli invertteriä. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät syöttävät ensisijaisesti omia kuormia. Kulutuksen ylittävä osa tuotannosta syötetään yleiseen sähköjakeluverkkoon. [8]

Aurinkoteknillisen yhdistyksen mukaan aurinkovoimalan tuotanto on optimisointia noin 900-1000 kWh yhden kW:n paneelitehoa kohden vuodessa [9]. Täten esimerkiksi 1 kW laitos tuottaisi vuodessa noin 1 MWh sähköä. Tyypillisen asuinkiinteistöön liitetyn laitteiston koko on huipputeholtaan luokkaa 1-2 kW.

2.2.2. Vesivoima

Vesivoimalassa vesi virtaa alas turbiinin kautta. Osuessaan turbiinin akselille asennettuun juoksupyörään, vesi pyörittää turbiiniakselia ja siihen yhdistettyä generaattoria, joka muuttaa pyörimisliikkeen sähköenergiaksi. [10]

Voimalassa tuotettu sähkö siirretään generaattorista muuntajalle ja sähköverkon kautta kuluttajille. Pienvoimalalla tuotettu verkkoon johdettava sähkö on taajuudeltaan 50 Hz. [10]

Kauppa- ja teollisuusministeriön selvityksen [11] mukaan alle 0,5 MW nimellistehoisen vesivoimalaitokset eivät ole taloudellisesti kannattavia. Selvityksen mukaan 0,5 MW laitoksen vuosituotanto olisi noin 4400 MWh.

2.2.3. Tuulivoima

Tuulivoimala muuttaa ilman virtauksen liike-energiaa tuuliturbiinin avulla sähköksi. Suurimmassa osassa nykyaikaisia tuulivoimaloita pyörivien lapojen liike-energia muutetaan sähkövirraksi. Yleistymässä ovat myös pysty akseliset tuulimyllyt eli niin kutsutut tuuliruuvit.

Pientuulivoimaloita on olemassa useita eri malleja käyttötarkoituksen mukaan. Tavallisesti pientuulivoimala lataa akkuja, joista energia muutetaan käyttösähköksi invertterin avulla. Akkukäytössä käyttöjännite vaihtelee 12 ja 360 V välillä. Akkukapasiteetti voi vaihdella runsaastikin. Mökkijärjestelmässä tyypillinen akkukapasiteetti on noin 200 Ah, kun järeämmissä tukiasemasovellutuksissa tai mikäli halutaan sähköistää talo tai mökki kokonaan, se voi olla jopa useita tuhansia ampeeritunteja. [12]

Suuremmat, yli 1 kW tuulivoimalat, kytketään yhä useammin sähköverkkoon. Tällöin tuulivoimalaa voidaan käyttää ilman akkuja. Toinen akuton käyttövaihtoehto on siirtää tuulivoimalan tuottama energia lämmivesivaraajaan.

Verkkoonkytkettäessä käytetään erillistä verkkokytkintä. Verkkokytkin huolehtii syötettävän sähköjännite- ja taajuustasosta sekä liittymän suojauksesta.

Tuulivoimayhdistyksen mukaan Alle 10 kW nimellistehoiset tuulivoimalat tuottavat yleensä 1000 - 20000 kWh vuodessa. [13]

2.2.4. Biovoimalat

Biokaasutuslaitoksessa biojätteestä erotetaan liete, joka kaasutetaan mädätyskammiossa. Kaasua voidaan käyttää polttoaineena sähköntuotannossa esimerkiksi kaasumoottori-generaattori-yhdistelmässä. [14]

Yleensä biokaasulaitoksissa tuotetaan sekä lämpöä että sähköä tai pelkkää lämpöä. Polttoaineeksi kelpaavat monet biopolttoaineet, kuten puupohjaiset polttoaineet, peltobiomassa, yhdyskunta- ja prosessijätteet sekä erilaiset bioliätteet.

Pienimuotoisia biokaasutuslaitoksia käytetään esimerkiksi maataloilla, joissa polttoaine saadaan karjankasvatuksen tai maanviljelyn sivutuotteena. Laitosten sähköteho on yleensä joistakin kymmenistä kilowateista satoihin kilowatteihin. [15]

3 Pienimuotoisen sähköntuotannon tilanne Suomessa

Tässä luvussa kartoitetaan pienimuotoisen sähköntuotannon nykytilaa Suomessa tilastotiedon ja kyselyjen avulla. Tietoa on kerätty verkkoyhtiöiltä, eri tuotantomuotoja edustavilta yhdistyksiltä sekä laitevalmistajilta. Kyselyihin innokkaimmin vastasivat tuulivoimasektorin edustajat ja huonoiten biopolttolaitoksia edustavat tahot. Tästä syystä toisista tuotantomuodoista on kattavammin tietoa toisista.

Vaikka edellisessä luvussa pienimuotoisen tuotannon rajaksi on määritelty 2 MVA, otettiin kyselyissä rajaksi 1 MVA. Tämä tehtiin siksi, että yli 1 MVA:n laitoksista on tarjolla luotettavaa tilastotietoa Energiamarkkinaviraston voimalaitosrekisterissä [6]. Alle 1 MVA:n laitoksia ei ole tilastoitu, joten kyselyissä oltiin kiinnostuneita nimenomaan näistä laitoksista. Tästä syystä tässä luvussa käsitellään vain alle 1 MVA nimellistehoisia laitoksia.

Tämän luvun tarkoituksena on valottaa eri pientuotantomuotojen nykytilaa ja tulevaisuudennäkymiä. Luotettavaa tilastotietoa alle 1 MVA:n suuruisen pientuotannon tilasta ei ole, joten tietoa on kerätty useista lähteistä. Pientuotannon tarkkojen määrien sijasta on lähinnä pyritty tuomaan esiin pientuotannon mahdollinen potentiaali tulevaisuudessa.

3.1. Tuulivoima

Tuulivoima on tällä hetkellä merkittävimpiä pienimuotoisia tuotantomuotoja. Tässä selvityksessä tarkastellaan pienimuotoisen tuulivoimantuotannon nykytilaa Suomessa. Koska kyselyrajaksi on asetettu 1 MVA, on mukana myös suurehkoja laitoksia, jotka voivat olla osana suurempaa tuulipuistoa.

VTT:n tuulivoimatilastossa vuodelta 2008 [16] on tilastoitu Suomen tuulivoimalat kokoluokasta 200 kW alkaen. Voimaloita, joiden koko oli välillä 0,2 - 1 MW, oli vuoden 2008 lopussa 79 kappaletta. Näiden yhteiskapasiteetti oli vuonna 2008 48,8 MW ja vuosituotto 91,2 GWh. Voimalaitokset on listattu taulukossa, joka löytyy liitteestä A.

Alle 200 kW tuulivoimalaitoksista ei ole luotettavaa tilastotietoa. Tuulivoimayhdistys ry:n mukaan pieniä, verkkoon syöttäviä voimaloita, joiden koko vaihtelee välillä 0,2 kW - 250 kW, on asennettuna Suomessa 50 - 100 kappaletta. [17]

Verkkoon syöttävien pientuuliturbiinien rakennustahti on Suomessa ollut kiihtyvä johtuen muun muassa uusien verkkoonsyöttölaitteiden tulosta markkinoille. Tuulivoimayhdistyksen tietojen mukaan vuonna 2009 uusia asennuksia tehdään noin 50 kappaletta ja vuonna 2010 yhdistys arvioi uusien asennusten määrän kaksinkertaistuvan. Tuulivoimayhdistys ennustaa tuuliturbiiniasennusten määrän kasvavan parina lähivuotena 100 %:n vuosivauhtia. [17]

Tuulivoimayhdistys kertoo, että yksityiskuluttajat pystyttävät lähinnä heille kustannustehokkaimpia 2 - 5 kW myllyjä, kun taas maatalous- ja teollisuuslaitokset pystyttävät 20 - 100 kW kokoluokan myllyjä. Uusia tuulivoimaloita rakennetaan yhdistyksen mukaan yhtälailla sisämaahan kuin rannikoillekin, tosin rannikkoalueet painottunevat enemmän. [17]

Mökkituulivoimalamarkkinat ovat Tuulivoimayhdistyksen mukaan kymmenkertaisia verkkoon syöttävien tuulivoimaloiden määrään verrattuna [17]. Näitä ei kuitenkaan tarkastella tässä työssä, sillä mökkivoimaloiden tuottamaa sähköä käytetään akkujen välityksellä suoraan kohteissa, eivätkä ne ole liitettynä sähköverkkoon.

Kyselyyn vastanneet laitevalmistaja sekä Tuulivoimayhdistys kokivat pientuulivoimaloiden kysynnän kasvaneen voimakkaasti ja odottivat kasvun jatkuvan merkittävänä. Erityisesti kiinnostusta ja kasvupotentiaalia on vastanneiden mukaan omakotitalon sähköverkkoon liitettävissä myllyissä. Tuulivoimayhdistyksen mukaan tyypillisimmin yksityiset verkkoon syöttävät voimalat ovat kokoluokassa 2 – 7 kW. Alle 10 kW voimalat tuottavat yleensä 1000 - 20000 kWh vuodessa [17].

Nykyisin pientuotantokohteiden tuuliturbiinit on mitoitettu melko hyvin kulutusta vastaaviksi, jolloin vain pieni ylimäärä syötetään jakeluverkkoon. Kuluttajien tapauksessa jakeluverkko toimii puskurina ylituotannolle. Tuotannosta ei yleensä saada korvausta sähköyhtiöltä. Liitynnän täytyy vastata vaatimusten mukaisia normeja, joita on käsitelty tarkemmin luvussa 7. Tuulivoimayhdistys kuitenkin varoittaa markkinoilla olevan myös pienitehoisia liityntälaitteita, jotka eivät välttämättä näitä määrittäviä noudata [17].

3.1.1. Laitevalmistajien kommentteja

Pienimuotoisen sähköntuotannon tilannetta ja tulevaisuudennäkymiä tiedusteltiin myös laitevalmistajilta. Tuulivoimalaitosten valmistajat ja maahantuojat olivat aktiivisimpia kyselyyn osallistumisessa. Tähän työhön on kerätty vastauksia pientuulivoimalaitoksia valmistavilta ja myyviltä Tuulivoimala.com Finland Oy:ltä sekä Finnwind Oy:ltä.

Tuulivoimala.com kertoi liittäneensä laitteitaan käymään rinnan jakeluverkon kanssa. Lisäksi yritys on toimittanut erilaisia erikoissovelluksia kuten 20 kW tuulivoimakapasiteettia kokonaan sähköverkon ulkopuolelle rakennettavaan 10 omakotitalon ekokortteliin, jossa tuulivoimala toimii toisena energianlähteenä. Yrityksen laitosten koko vaihtelee välillä 0,2 - 2 kW. Vain suurimpia laitoksia on kytkettynä verkkoon. Verkkoonkytkennöissä asiakkaat ovat tehneet paikallisen sähköyhtiön kanssa keskinäisen sopimuksen liittämisestä. Kokemukset sähköverkkoon liittämisestä ovat Tuulivoimala.comin mukaan olleet positiivisia. [18]

Tuulivoimala.comin mukaan kiinnostus liittää tuulivoimala käymään rinnan jakeluverkon kanssa on kasvamassa. Laitteistojen määrän merkittävää kasvua voidaan kuitenkin odottaa vielä jonkin aikaa laitteistojen ja liityntäratkaisujen vielä kehittyessä sekä laitteistojen korkeiden hintojen madaltuessa. [18]

Finnwind Oy:n myllyt ovat nimellisteholtaan 2 - 6 kW. Heillä ei ole vielä kokemusta tuulimyllyjen kytkemisestä rinnan jakeluverkon kanssa. Finnwindin mukaan suurin kysymys tällä hetkellä on edellytys symmetrisestä kolmivaihevirrasta. Pienvoimaloihin (Alle 10 kW) on hyvin saatavilla yhteen vaiheeseen tahdistuvia taajuusmuuttajia. Kolmivaiheisia verkkoon tahdistuvia taajuusmuuttajia on alle 10 kW teholuokissa huonosti saatavilla. [19] Kysymykseen yksivaiheisesta tuotannosta palataan luvussa 6.

Verkkoon liitynnässä Finnwind tulee käyttämään kaupallisia eurooppalaisia tai amerikkalaisia verkkoon tahdistuvia taajuusmuuttajia. Samoja tuotteita käyttävät useat eurooppalaiset ja amerikkalaiset tuulivoimalavalmistajat. [19]

3.2. Aurinkovoima

Suomessa on tällä hetkellä vain vähän verkkoon liitettyä aurinkovoimaa. Verkkoyhtiökyselyn perusteella voimaloita on viisi, jotka kaikki ovat teholtaan alle 100 kW. Aurinkosähköjärjestelmiä toimittava Naps Systems kertoo, että Suomessa toistaiseksi suurin asennus on Kiilto Oy:n katolla Lempäälässä oleva 66 kW järjestelmä [20].

Naps Systemsin mukaan nykyinen tuotannon määrä ei kuitenkaan ole merkityksellistä arvioitaessa tulevaisuuden tuotantoa. Tuotantomäärät voivat kasvaa tulevaisuudessa merkittävästi, mikäli poliittinen päätöksenteko kannustaa aurinkosähköjärjestelmien rakentamiseen esimerkiksi investointituin, verohelpotuksin tai syöttötariffein. Tulevaisuudessa myös laitteiden hinnat laskevat, mikä osaltaan lisää asennusten määrää.

Vuonna 2009 on jätetty tarjouksia useista 100 kW järjestelmistä, joista yhdestä toimittaja (Naps Systems Oy) on jo saanut sitovan tilauksen asennukselle. Aurinkoteknillinen yhdistys uskoo, että vuonna 2009 Suomessa rakennetaan useita satoja kilowatteja aurinkosähköä. [20]

Aurinkosähkön investointikustannus on voimakkaassa laskussa, koska investointeja piin, kiekkojen, kennojen ja moduulien valmistukseen on tehty viime vuosina erittäin paljon. Toimialan tavoitteena on 1 €/W investointikustannus. [20]

Verkkoon syöttävät aurinkosähköjärjestelmät voivat olla liitettynä joko omakotitalon, julkisen rakennuksen tai voimalan verkkoon. Kokoluokka verkkoon liitettävillä laitteilla vaihtelee muutamasta kilowatista yli sataan kilowattiin. Mökkikäytössä on paljon pienempiä paneelistoja. Nämä eivät kuitenkaan syötä verkkoon.

Aurinkoteknillisen yhdistyksen mukaan aurinkovoimalan tuotanto on optimisuuntauksella noin 900-1000 kWh yhden kW:n paneelitehoa kohden vuodessa. [20]

3.3. Pienvesivoima

Suomessa ei tällä hetkellä rakenneta juurikaan uutta pienvesivoimaa. Pienvesivoimapotentiaalia maastamme löytyisi kuitenkin paljonkin.

Kauppa- ja teollisuusministeriön Pienvesivoimakartoituksen (2005) mukaan Suomessa on käytössä alle 1 MW nimellistehoista vesivoimakapasiteettia 57 MW. Teoreettista potentiaalia pienvesivoimalle olisi noin 434 MW lisää. Hyvin pieniä vesivoimalaitoksia ei selvityksessä pidetä taloudellisesti kannattavina vaan alle 100 kW laitosten todetaan olevan käytännössä kannattamattomia. [11]

Pienvesivoimapotentiaalia on Suomessa melko merkittävästi, mutta mikrotuotantoon vesivoimasta ei ole. Vesivoimasektori käydään tässä luvussa kuitenkin läpi yleisen kiinnostavuuden takia sekä kokonaiskuvan saamiseksi.

Suomen pienvesivoimayhdistyksen mukaan investointihalukkuus uuteen pienvesivoimaan on laimeaa, vaikka potentiaalia onkin. Syinä tähän Pienvesivoimayhdistys näkee investointitukien alhaisuuden sekä vesilupajärjestelmän byrokraattisuuden. Vanhojen vesilupien tulkinta tai lupien uusinta on pienille kohteille liian raskasta, hidasta ja epäedullista. [21]

Pienvesivoimayhdistyksen jäsenyritystensä keskuudessa tekemän kartoituksen mukaan Suomessa on 29 uusrakentamiskohdetta, joilla teho on 0,5 - 2 MW ja 227 uusrakentamiskohdetta, joiden teho on keskimäärin 0,3 MW. Kohteiden kehitys voisi käynnistyä ainoastaan, mikäli tukijärjestelmää muutetaan pienvesivoimalle edullisemmaksi, ja lupien hankintabyrokratiaa helpotetaan. Toistaiseksi uudisrakentamista ei tapahdu. [21]

3.4. Verkkoyhtiökysely

Tämän diplomityön yhteydessä tehtiin kysely Suomen jakeluverkkoyhtiöille. Kyselyssä tiedusteltiin pienimuotoisen tuotannon määrää ja tuotantolaitosten tyyppejä kyseisen jakeluverkonhaltijan verkossa. Kyselyssä tiedusteltiin, myös minkä suuruisten tuotantolaitosten tuottamaa sähköä ei enää ole järkevää myydä markkinaehtoisesti, vaan se kuluu verkonhaltijan häviöihin. Verkonhaltijoita pyydettiin myös ottamaan kantaa siihen, miten he näkevät pienimuotoisen tuotannon lisääntyvän verkossaan tulevaisuudessa. Suomen 89 verkonhaltijasta kyselyyn vastasi 43 verkonhaltijaa eli noin 48 % verkkoyhtiöistä, joiden yhteenlaskettu verkko-osuus vastaa noin 69 % Suomen pien- ja keskijännitejakeluverkosta kilometreinä [22].

Kyselylomake on luettavissa liitteessä B. Liitteeseen on myös listattu kyselyyn vastanneet verkonhaltijat.

Taulukko 3.1. Verkkoyhtiökyselyn tulokset.

	tuulivoima	vesivoima	biolaitokset	mikro-CHP	aurinkovoima	muut
<5kW	10	2			3	3
5-100kW	3	10	2	1	2	8
100-500kW	15	23	5	2		4
500kW-1MW	23	14	3			14

Taulukossa 3.1. on listattu vastanneiden verkkoyhtiöiden ilmoittamat laitokset. Huomionarvoista on, että muutamat verkkoyhtiöt epäilivät verkossaan olevan lisäksi joitakin yksiköitä ilman heidän lupaansa verkon kanssa rinnan käyvää mikrotuotantoa. Tämä on ongelma. Onkin selkeästi tiedotettava sekä laitevalmistajia että koko kenttää kuluttajan vastuusta: verkkoyhtiölle tulee aina ilmoittaa laitteistosta, joka voi syöttää sähköä yleiseen verkkoon!

Kyselyyn vastanneilla verkkoyhtiöillä on verkkoihinsa liitettyä yhteensä 147 osittain tai kokonaan verkkoon syöttävää laitosta, jotka käyvät rinnan yleisen jakeluverkon kanssa joko osan ajasta tai jatkuvasti. Alle 100 kW laitoksia oli kyselyyn vastanneiden yhtiöiden verkoissa yhteensä 44 kappaletta.

Kaikkiaan alle 1 MW laitoksista 51 oli tuulivoimalaitoksia, joita löytyi kaikista kokoluokista, laitoksista 49 oli vesivoimalaitoksia, 10 oli biopolttolaitoksia, 3 oli mikro-CHP-laitoksia, 5 oli aurinkovoimalaitoksia ja 29 oli muita laitoksia kuten maakaasugeneraattoreita tai diesel-varavoimakoneita, jotka käyvät rinnan jakeluverkon kanssa.

Kaikki aurinkovoimalat olivat pieniä, alle 100 kW laitoksia. Biopolttolaitoksista taas ei löytynyt yhtään alle 5 kW laitosta.

Keskimäärin kyselyssä ilmoitettujen laitosten yhteisteho oli noin 57 MW. Alle 100 kW laitosten kokonaisteho oli noin 1,4 MW. Määrät ovat suhteellisen pieniä, mutta kysynnän ja kiinnostuksen kasvaessa ne voivat kasvaa merkittäviksi verkon kannalta. Lisäksi on huomioitava, että kyselyyn vastasi vain noin puolet verkonhaltijoista.

Verkkoyhtiöiden näkemykset sähkömarkkinoiden ehdoilla järkevästi toimivan laitoksen kokorajasta vaihtelivat paljon. Osa yhtiöistä näki, että yli 2 kW tuotantolaitokset voisivat toimia markkinaehtoisesti. Toiset yhtiöt uskoivat, ettei alle 100 kW:n tai jopa alle 150 kW:n laitoksille löydy sähköä ostajaa markkinoilta.

Sähkön myynnin ongelmana nähtiin verkkoon syötetyn sähkön pieni määrä. Monesti hallinnoinnista ja kirjanpidosta aiheutuvat kulut voivat ylittää itse sähkön myynnistä saadut tulot. Ratkaisuja pientuotannon markkinoillepääsyyn on mietitty luvussa 10.

Verkkoyhtiöt näkivät, että kyselyitä pienimuotoisen tuotannon liittämistä tulee enenevässä määrin, mutta muun muassa liityntälaitteiden hinta rajoittaa uusien laitteistojen liittämistä verkkoon. Mikäli laitteiden hinnat kuitenkin laskevat, voi uusien pientuotantolaitteiden rakentaminen kasvaa räjähdysmäisesti.

4 Kansainvälinen vertailu

Tässä luvussa käydään läpi eri Euroopan maiden pientuotantotilannetta, teknisiä vaatimuksia, tukimuotoja, pientuotannon markkinoille pääsyä sekä ennusteita pientuotannon kehittymisestä tulevaisuudessa. Lisäksi erikseen käsitellään mikrotuotantoa sellaisena kuin kukin maa sen itse käsittää.

Käsiteltäviksi on valittu neljä maata: Espanja, Saksa, Itävalta ja Tanska. Kyseiset maat on valittu siksi, että niissä on käytössä merkittäviä määriä pienimuotoista tuotantoa, ja niillä on siten enemmän tietoa tuotannon verkkovaikutuksista. Tarkastelemalla näiden maiden tilanteita pyritään saamaan kokonaiskuva pienimuotoisesta tuotannosta, ottamaan oppia muiden maiden hyväksi havaitsemista käytännöistä sekä ennustamaan pienimuotoisen tuotannon määrien kehittymistä Suomessa.

Taulukko 4.1. Vertailtavien maiden sähköenergian vuositiedot vuodelta 2006 [23]

	maksimituotantokapasiteetti	kokonaistuotanto	kokonaissähköenergian kulutus
Suomi	16,5 GW	78,6 TWh	90,0 TWh
Espanja	81,1 GW	289,6 TWh	280,9 TWh
Saksa	139,5 GW	596,1 TWh	567,0 TWh
Itävalta	18,9 GW	61,9 TWh	65,5 TWh
Tanska	12,9 GW	37,0 TWh	36,4 TWh

Taulukossa 4.1. on esitetty käsiteltävien maiden sekä Suomen sähköenergian kulutus- ja tuotantotilastoja Eurelectricin tilastojen (2006) avulla [23]. Taulukon avulla saadaan kuva maiden tuotanto- ja kulutustilanteista ja voidaan verrata muita maita Suomeen. Näin voidaan paremmin arvioida maiden välisiä eroja ja yhtäläisyyksiä.

Suomen kokonaisenergiantarve on noin 90,0 TWh. Kokonaisuudessaan Suomessa on noin 16,5 GW tuotantokapasiteettia, joka vastaa vuositasolla noin 78,6 TWh tuottoa. Espanjassa kokonaisenergian tarve on yli kolminkertainen Suomeen nähden ja Saksassa yli kuusinkertainen. Tanska ja Itävalta käyttävät Suomea vähemmän sähköenergiaa.

Maiden energiataseet ovat erilaiset. Espanja, Saksa ja Tanska tuottavat enemmän energiaa kuin tarvitsevat. Itävalta ja Suomi joutuvat ostamaan osan tarvitsemastaan energiasta ulkomailta.

Seuraavaksi esitellään eri maiden tilanteita ja verrataan niitä Suomeen. Vertailutietoina Suomen väkiluku on noin 5,3 miljoonaa ja pinta-ala noin 338 000 km².

4.1. Espanja

Espanjan väkiluku on noin 45 miljoonaa ja pinta-ala yli 500 000 km². Espanja on siis pinta-alaltaan vajaa 200 000 km² Suomea suurempi. Espanjan asukasluku on noin 9-

kertainen Suomeen nähden. Tärkeitä elinkeinoja ovat teollisuus, maanviljely sekä matkailu ja erilaiset palvelualat. [24] Espanja on ollut erityisesti tuulivoima-asennusten edelläkävijämaa. Lisäksi Espanjassa on käytössä paljon aurinkosähköä.

4.1.1. Pienimuotoisen tuotannon yleistilanne

Espanjassa pienimuotoinen tuotanto on lähinnä tuulivoimaa, joskin viimeaikoina myös aurinkovoiman käyttö on ollut yleistymässä. Espanjassa tuulivoimalaitokset ja -puistot ovat kuitenkin melko kookkaita.

Ruotsin valtion teettämän selvityksen mukaan vuoden 2006 loppuun mennessä Espanjassa oli asennettuna pienehköä uusiutuvaa (alle 10 MW nimellisteho) tuotantoa noin 14 000 MW, josta 83 % oli tuulivoimaa. Tuulivoimakapasiteettia oli Espanjassa siis 14 % kokonaiskapasiteetista. Tämä määrä vastasi noin 8,5 % maan sähkön vuosikulutuksesta. [25]

Espanjan tuulivoimasektori on kehittynyt hyvin eri tavalla kuin monissa muissa maissa. Espanjassa tuulisilla alueilla on paljon matalampi väestötiheys kuin esimerkiksi Saksassa. Tämä on mahdollistanut suurempien tuulipuistojen rakentamisen. Espanjan tuulivoimalat ovatkin usein suurissa tuulipuistoissa, ja tulevaisuuden trendinä nähdään entistä suurempia, kantaverkkoon liitettviä tuulipuistoja. [25]

Espanjassa ei siis tulevaisuudessa ole nähtävissä merkittävää pienimuotoisen tuulivoiman lisäystä. Toisaalta aurinkosähkön käyttö on kasvussa. Aurinkosäkölaitokset ovat pääasiallisesti nimellisteholtaan alle 100 kW. Tällaisen tuotannon lisääntyminen kasvattaisi Espanjan pientuotannon määrää.

Espanjassa pientuotannon tuet, tekniset ehdot ja säädökset on määritetty erikseen aurinkosäkölaitoksille ja pyörivin generaattorein sähköä tuottaville pientuotantolaitoksille. Tästä syystä jatkossa näitä kahta tuotantotapaa käsitellään erikseen.

4.1.2. Pienimuotoisen tuotannon tuet ja markkinoille pääsy

Tässä aliluvussa esitellään Espanjassa käytössä olevia pienimuotoisen tuotannon tukimekanismeja sekä käsitellään pienimuotoisen tuotannon markkinoille pääsyä.

4.1.2.1. Tuet

Espanjassa tuotantoa tuetaan syöttötariffilla, joka on joko kiinteä tai markkinahinnan päälle lisättävä preemio. Alle 50 MW nimellistehoiset uusiutuvaa tuotantomuotoa käyttävät tuotantolaitokset voivat valita joko kiinteän syöttötariffin tai preemiotariffin. Aurinkosähkön tuottajilla on kuitenkin valittavanaan vain kiinteä syöttötariffi. Aiemmin tuottajat valitsivat preemiovaihtoehdon vain harvoin. Noussut sähkön hinta kuitenkin

lisäsi preemiovaihtoehdon suosiota merkittävästi. Vuonna 2007 hinnalle määriteltiin katto ja pohja. [25]

Aurinkosähkön tuotanto on kasvanut Espanjassa nopeasti vuodesta 2005 lähtien. Aurinkosähkön syöttötariffit ovat kaikkein suurimpia. Korkein tariffi on laitoksille, joiden nimellisteho on alle 100 kW. Tämä on johtanut isompien laitosten pilkkomisen 100 kW paloihin korkeampien tariffien saamiseksi, mutta myös kannustanut pienimuotoiseen aurinkosähkön tuotantoon. [25]

Uusiutuvaa pienimuotoista tuotantoa tuetaan Espanjassa myös priorisoimalla sitä verkkoon liitettäessä. Verkon kapasiteetin loppuessa liittämispisteessä tulee uusiutumattoman tuotannon rajoittaa tuotantoaan, jotta kaikki pisteeseen liitetty uusiutuva pienimuotoinen tuotanto saadaan käyttöön. Näin toimitaan, vaikka uusiutuva tuotanto olisi rakennettu uusiutumattoman jälkeen. [25]

Sähkön tuottaja maksaa verkkoonliittymiskustannuksensa itse. Sen ei kuitenkaan tarvitse maksaa verkon vahvistamisesta aiheutuvia kuluja. Lainsäädäntö on siis tältä osin samanlainen kuin Suomessa. Tässä lainsäädäntö on kuitenkin hieman tulkinnanvarainen, eikä sitä aina ole sovellettu johdonmukaisella tavalla. [25]

4.1.2.2. Markkinoille pääsy ja mittaus

Espanjassa sähkön tuottaja myy sähkönsä joko tukkumyyjälle tai suoraan markkinoilla. Tuottaja voi toimia markkinoilla myös myyjäagentin eli aggregoijan välityksellä. Yli 1 MW laitokset saavat osallistua sähkömarkkinoihin itsenäisenä toimijana tai agentin välityksellä. Yli 50 MW laitosten on pakko toimia itsenäisesti. Alle 1 MW laitokset kerätään tuotantolaitosryppäiksi, joilla aggregoijat käyvät kauppaa. Aggregoijaksi ei ole määrätty ketään tahoa, vaan aggregoijaksi saa ryhtyä vapaasti. [26]

Pienjänniteverkon pistettä, jossa on sekä kulutusta että tuotantoa, käsitellään joko kulutus tai tuotantopisteenä riippuen siitä, kumpaa kapasiteettia pisteessä on enemmän. Pienjänniteverkkoon (<1 kV) kytkeytyneet alle 15 kW laitokset voivat valita, mitataanko pelkkä netto vai tuotanto ja kulutus erikseen. Tyypillisesti tällaiset asiakkaat valitsevat suurten syöttötariffien vuoksi kaksisuuntaisen mittauksen, joka toteutetaan kahdella mittarilla. Tuntimittausvelvoitetta ei ole. Mitään tahoa ei ole pakotettu ostamaan tuotettua sähköä tai ainakaan lähde ei siitä mainitse. [25] Syöttötariffin suosisuoli kuitenkin viittaisi jonkin asteiseen ostopakeroon, sillä muuten kyseisen kokoisten laitosten tuottaman sähkön myyminen markkinoille lienee vaikeaa.

4.1.3. Verkkoon pääsy ja liittyminen

Tässä aliluvussa käydään läpi, miten Espanjassa toimitaan, kun tuotantolaitos haluaa liittyä yleiseen jakeluverkkoon ja syöttää sähköä siihen. Aliluvussa esitetään verkkoonpääsyprosessi sekä tekniset vaatimukset, jotka pienimuotoiselle tuotantolaitokselle on asetettu.

4.1.3.1. Verkkoon pääsy

Espanjassa on kaksi erilaista verkkoonliityntäprosessia riippuen siitä, liitytäänkö kantavai jakeluverkkoon [25]. Tässä esitellään vain jakeluverkkoon liittyminen. Työn kannalta kantaverkkoon liittyminen ei ole kiinnostavaa, sillä käsitellään pienimuotoista, jakeluverkkoon liittyvää tuotantoa.

Verkkoon päästäkseen tuotantolaitoksen liittäjä lähettää tiedot laitoksesta oman alueensa jakeluverkonhaltijalle. Verkonhaltija tarkastaa tiedot ja tarvittaessa esittää muutokset liittyjälle, joka tekee mahdolliset muutokset. Tämän jälkeen jakeluverkonhaltija selvittää, onko verkossa vapaata kapasiteettia, johon liittyä. Jakeluverkonhaltijan antama raportti vapaasta kapasiteetista on voimassa 6 kuukautta eteenpäin. Saatuaan verkkoonpääsylvan, liittyjä lähettää projektisuunnitelman jakeluverkkoyhtiölle saadakseen liityntäluvat. Jakeluverkkoyhtiön on lähetettävä raportti tarvittavista vahvistuksista kantaverkko-operaattorille, mikäli liittyminen voi vaikuttaa kantaverkkoon. [25] Ennen liittymistä verkkoon verkonhaltijalle tulee lähettää tiedot ammattilaisen tekemistä koestus- ja käyttöönottopöytäkirjoista. [26]

Verkkoon pääsylvapua haettaessa jakeluverkkoyhtiön on otettava huomioon, että mikäli tuotantoa ei voida varastoida (tuuli, aurinko), liityntäpisteeseen liittyvän tuotannon kapasiteetti ei saa ylittää 1/20 verkon oikosulkukestoisuudesta kyseisessä pisteessä. Tämän ehdon asettama raja tulee Espanjassa nykyään usein vastaan. Rajoitukset ovatkin melko tiukat, sillä esimerkiksi Australiassa tämä ehto on vain 1/5 [25]. Tuotannon liittämisestä jakeluverkkoon ei vielä ole paljoa kokemusta. Siksi lienee järkevää olla aluksi tiukka ja löysätä määräyksiä jonkin ajan kuluttua.

Yleinen tapa on antaa väliaikainen lupa verkkoon liittynälle, vaikka verkon vahvistukset eivät olisi kunnossa. Tällä luvalla tuotantolaitos saa syöttää verkkoon tiettyyn kapasiteettirajaan asti. Tämä kuitenkin tarkoittaa, että esimerkiksi osa tuulipuistoista joutuu jatkuvasti toimimaan vajaateholla. [25]

4.1.3.2. Tekniset vaatimukset

Espanjan säädöksessä RD 1663/2000 käsitellään erikseen aurinkovoimalaitokset, jotka liittyvät pienjänniteverkkoon. Laitosten maksiminimellisteho on 100 kVA ja verkkojännitteen maksimi on 1 kV. Ohjeistus määrittelee verkkoonliityntäprosessin kulun sekä verkonhaltijan ja sähköntuottajan vastuut. Säädös RD 842/2002 Low Voltage Regulation määrittää tekniset ohjeet muille pienjänniteverkkoon liitetyille tuotantolaitoksille, joiden koko on maksimissaan 100 kVA. [26]

Pienjänniteverkkoon (3 x 400/230V) liitettyjen pientuotantolaitosten yhteisteho liittymispisteessä ei saa ylittää 100 kVA, eikä laitosten yhteen laskettu nimellisteho saa olla yli puolta verkon siirtokapasiteetista kyseisessä liittymispisteessä. Lisäksi

tuulivoimalaitoksia koskee erityisvaatimus, jonka mukaan niiden yhteenlaskettu nimellisteho ei saa olla yli 5 % verkon oikosulkutehosta liityntäpisteessä. [26]

Kun aurinkosähkölaitos kytketään verkkoon tai irti verkosta, sen aiheuttama jännitevaihtelu liityntäpisteessä ei saa ylittää 5 %. Aurinkosähkölaitoksen tehokerroin tulee olla ”mahdollisimman lähellä” yhtä. Tästä voidaan kuitenkin erikseen sopia verkonhaltijan kanssa. Epätahtigeneraattorin tehokertoimen tulee olla yli 0,86 ja tahtigeneraattorin välillä 0,8 - 1. [26]

Yksivaiheisen aurinkosähkölaitoksen kokoraja on 5 kW. Tätä suuremmat laitokset tulee liittää kolmivaiheisina joko kolmella yksivaiheinvertterillä tai suoraan kolmivaiheinvertterillä.[26]

Saarekekäytön estämiseksi Espanjassa pienjänniteverkkoon liittyneeltä pientuotantolaitokselta vaaditaan, että yli- ja alijännitetarkastelu sekä yli- ja alitaajuustarkastelu on tehtävä. Lisäksi verkonhaltijalla tulee olla pääsy erottimelle, jolla laitos voidaan kytkeä irti verkosta. Alle 100 kVA aurinkosähkölaitosten jännite- ja taajuusmonitorointi voi olla yhdistettynä invertteriin. [27]

Turvallisuussyistä laitoksen yhteyteen on asennettava katkaisija asianmukaisine suojauksineen. Tähän katkaisijaan tulee verkonhaltijalla olla rajoittamaton pääsy. Suojauksen tulee varmistaa, ettei laitoksen sisäinen vika haittaa verkon toimintaa. Kun verkossa on ongelma, tulee laitoksen irrota, eikä se saa kytkeytyä takaisin ennen kuin verkon jännite ja taajuus ovat palautuneet ja stabiloituneet. [26]

Taulukko 4.1.1. Espanjan pienten laitosten irtautuminen verkosta häiriötilanteissa [26]

Espanja: alle 100 kVA laitokset*		Toiminta-aika
Ylijännite	110 %	0,5 s
Alijännite	85 %	0,5 s
Ylitaajuus	51 Hz	5 jaksoa**
Alitaajuus	49 Hz	5 jaksoa**
LoM	ei vaadita	
*Aurinkosähkölaitosten ohjeessa on samat rajaukset, mutta ei mainintaa toiminta-ajoista.		
**Viisi jaksoa on ajallisesti välillä 0,098-0,102 sekuntia, kun taajuus on välillä 51-49 Hz.		

Taulukossa 4.1.1. on esitelty yli- ja alijänniterajat, yli- ja alitaajuusrajat sekä LoM eli Loss of Mains -suojauksen tarve. LoM-suojauksella tarkoitetaan tilannetta, jossa verkon jännite katoaa ja tuotantolaitos pystyy jäämään syöttämään verkkoa saarekkeena. Taulukon rajat pätevät kaikenlaisille pientuotantolaitoksille, joiden koko on enintään 100 kVA. Aurinkovoimalaitoksia koskeva säädös ei kuitenkaan esitä toiminta-aikoja, vaan taulukon toiminta-ajat ovat epätahti- ja tahtikoneita koskevasta säädöksestä. Laitoksille on myös erillisvaatimuksia riippuen tuotantotyyppistä. Näitä erikoisvaatimuksia on esitelty seuraavaksi.

Kun epätahtigeneraattori liitetään verkkoon, verkon jännite ei saa pudota yli 3 %. Tuuligeneraattoreilla suurin kytkentätaajuus saa olla 3 kertaa minuutissa, kun suurin jännitepudotus on 2 % verkkojännitteestä sekunnin aikana. Epätahtigeneraattoria ei saa kytkeä verkkoon ennen kuin sen käyntinopeus on 90 – 100 % tahtinopeudesta.[26]

Samaan mittauspiiriin, jossa aurinkosähkölaitos on, ei saa liittää muita tuotantomuotoja tai kuormia kuin aurinkosähkölaitos. Kun aurinkosähkölaitoksen liityntäpisteessä on myös tuotantoa, tulee tuotanto ja kulutus mitata erikseen. Mittarin tulee kyetä mittaamaan molempiin suuntiin. Mikäli mittari ei kykene tähän, tulee asentaa toinen mittari. [26]

Aurinkosähkölaitoksille vaaditaan vikavirtasuojia estämään mahdollisia kosketusjännitteitä asennuksen tasavirtapuolella. Laitoksessa tulee olla automaattinen katkaisija, joka irrottaa laitoksen mikäli verkon jännite tai taajuus katoaa. [26]

4.2 Saksa

Saksa on 83 miljoonan väkiluvullaan yksi Euroopan suurimmista valtioista. Saksan pinta-ala on yli 350 000 km². Se ei siis pinta-alaltaan ole merkittävästi Suomea suurempi, mutta sen asukasluku on noin 16-kertainen Suomeen nähden. Saksa on maailman kolmanneksi suurin talous, jonka päävientituotteita ovat muun muassa autot, hienomekaniikka, elektroniikka- ja viestintälaitteet, kemikaalit ja lääkkeet. [24] Saksassa on rakennettu suuria määriä pienimuotoista sähköntuotantokapasiteettia, erityisesti tuulivoimaa. Pääsyynä tähän ovat olleet Saksassa käytössä olleet suuret tuet uusiutuvalle pienimuotoiselle tuotannolle.

4.2.1. Pienimuotoisen tuotannon yleistilanne

Saksan sähköntuotannon peruspilarit ovat ydinvoima ja hiililauhde. Kasvussa ovat olleet kuitenkin myös vesivoiman ja tuulivoiman tuotanto. [28] Erityisesti on pystytetty pienehköjä yksityisomistuksessa olevia tuulivoimalaitoksia. Pohjois-Saksaan on rakennettu enenevässä määrin myös suurikokoisia tuulipuistoja. [25]

Saksa on kiinnittänyt suurta huomiota hiilidioksidipäästöjen pienentämiseen ja uusiutuvien energiamuotojen kannustamiseen. Maa onkin saanut pienennettyä päästöjään bruttokansantuotteen kasvusta huolimatta. [28]

Vuonna 2006 12 % (74 TWh) koko Saksan sähkönkulutuksesta oli uusiutuvaa energiaa. 41 % uusiutuvasta tuotannosta oli tuulituotantoa, 29 % oli vesivoimaa. Muita tuotantomuotoja olivat muiden muassa biopohjaiset polttoaineet sekä jäte- ja aurinkoenergia. Viimeisen 15 vuoden aikana uusiutuva tuotanto on kasvanut voimakkaasti. Saksasta löytyy 27 % maailman tuulivoimatuotannosta sekä 65 % maailman aurinkosähkötuoannosta. [25]

Saksan tuulivoimatuotanto tapahtuu pääasiallisesti pienissä laitoksissa. Suuria tuulipuistoja on alettu rakentaa vasta muutamia vuosia takaperin. Lähes koko Saksan tuulivoimantuotanto on yhdistetty jakelu- tai alueverkkoon, lukuun ottamatta Pohjois-Saksan suuria kantaverkkoon liitettyjä tuulipuistoja. [25]

Vuosittain Saksaan asennetaan aiempaa vähemmän uutta tuulivoimaa. Syitä tähän on taloudellisesti kannattavimpien alueiden loppuminen sekä rakennussäädökset. Verkkoyhtiöt eivät myöskään ole onnistuneet pitämään verkkoa ajan tasalla tuulituotannon kasvaessa. Näin on syntynyt pullonkauloja verkon osien välillä. Tulevaisuudessa Saksaan tullaan rakentamaan lähinnä suuria merituulipuistoja. [25]

4.2.2. Pienimuotoisen tuotannon tuet ja markkinoille pääsy

Tässä luvussa on käyty läpi Saksan tukia pienimuotoiselle uusiutuvalle tuotannolle. Lisäksi on selvitetty kustannusten jakautumista ja tuotannon mittausta.

4.2.2.1. Tuet

Saksassa on ollut vuodesta 1991 alkaen käytössä kiinteät syöttötariffit. Myös investointeja on tuettu joissain tapauksissa. Syöttötariffit ovat käytössä kaikelle uusiutuvalle tuotannolle. Ainoastaan vesivoiman suhteen on tiettyjä rajoituksia kokoluokassa 5-150 MW. Aurinkosähkön syöttötariffit ovat kaikkein korkeimmat. Verkkoyhtiö maksaa syöttötariffin tuottajalle, ja tariffijärjestelmän kustannukset jakautuvat kaikille verkon käyttäjille. Erityiskohtelua saavat tietyt energiantensiiviset teollisuudenalat, jotka maksavat pienemmän osan uusiutuvan energian tuista. [25]

Tuulivoiman syöttötariffit ovat samansuuruiset kaiken kokoisille laitteistoille. Aurinkosähkön tuottajat taas saavat sitä suurempaa syöttötariffia, mitä pienempi heidän laitoksensa on. Suurin tariffi on aurinkosähkölaitoksilla kokoluokassa alle 30 kW. Myös biomass- sekä vesivoimalaitokset nauttivat sitä suurempaa syöttötariffia, mitä pienempi laitos on nimellisteholtaan. CHP-laitosten syöttötariffi on samansuuruinen kaikissa kokoluokissa.

4.2.2.2. Markkinoille pääsy ja mittaus

Saksassa tuotannon mittaus aiheuttaa kuluja tuotantolaitoksen omistajalle. Verkonhaltija vastaa mittauksesta sekä mittauslaitteen asennuksesta. Tuotantolaitoksen omistaja kuitenkin vastaa lisäkustannuksista, joita aiheutuu, kun halutaan mitata sekä kulutusta että tuotantoa samassa pisteessä, sillä pääsääntöisesti pientuotantokohteissa mittarin tulee kyetä mittaamaan kulutus ja tuotanto erikseen. Alle 500 kW nimellistehoisilla laitteilla mittausväliksi riittää yksi vuosi. Pientuotantokohteissa on mahdollista käyttää netottavaa mittausta, mutta tällöin vaaditaan erityissopimus jakeluverkonhaltijan ja laitoksen operaattorin välillä. Yleensä suositaan tuotannon ja kulutuksen mittausta erikseen, sillä syöttötariffit ovat usein korkeammat kuin sähkön hinta. [25]

4.2.3. Verkkoon pääsy ja liittyminen

Tässä aliluvussa käydään läpi verkkoon pääsyä sekä mikrotuotannolle asetettuja teknisiä vaatimuksia Saksassa.

4.2.3.1. Verkkoon pääsy

Saksan lain mukaan verkkoyhtiöiden tulee välittömästi ja priorisoiden liittää uusiutuvia energianlähteitä käyttävä tuotantolaitos verkkoon. Verkkoyhtiöillä on velvollisuus vahvistaa verkkoaan ja maksaa vahvistuskustannukset. Itse voimalan liittämiskustannukset kustantaa sähkön tuottaja. Liityntäkustannusten maksaja määräytyy sen mukaan onko kyseessä verkkoon liittäminen vai verkon vahvistaminen tai päivittäminen. Tästä asiasta on kuitenkin monia tulkintoja ja erilaisia oikeudenpäätöksiä. [25]

Lain mukaan verkkoyhtiön on päivitettävä verkkoa uusiutuvaa tuotantoa varten aina, kun kapasiteetti ei ole riittävä, eikä päivittämiselle ole taloudellisia tai teknisiä esteitä. Uusiutuvaa energiaa priorisoidaan, eli lauhdevoimalaitosten tulee vähentää tuotantoaan tai jopa sulkea laitos, mikäli verkko rajoittaa tuotantoa. Tämä koskee myös ydinvoimaa. Uusiutuvaa tuotantoa voidaan siis syöttää verkkoon, kunnes pullonkaula tulee vastaan tilanteessa, jossa kaikki tuotanto on uusiutuvaa. Sekä uusiutuvan tuotannon että CHP-tuotannon asema on priorisoitu. Kuitenkaan ei ole selvää kumpi rankataan prioriteetissa korkeammalle, mikäli CHP-laitos ja uusiutuvia käyttävä laitos taistelevat samasta verkon kapasiteettisuudesta. [25]

4.2.3.2. Tekniset vaatimukset

Lain mukaan verkkoyhtiön on määritettävä yksityiskohtaiset tekniset minimivaatimukset verkkoon pääsulle eri jännitetasoilla ja julkaistava nämä verkkosivuillaan. [25] Saksassa on satoja jakeluverkkoyhtiöitä, joista jokainen asettaa omat vaatimukset. Yleisesti noudatetaan joko vanhaa Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke eV (VDEW):n vuonna 1998 julkaistua määräystä (VDEW 1998) tai siihen pohjautuvia jatkovaatimuksia (AVACON et al. 2004). Jatkovaatimusten sisältö lähenee suurjänniteliitynnän vaatimuksia; esimerkiksi jännitekuoppasietoisuudelle esitetään vaatimuksia. [29]

Saarekekäytön estämiseksi Saksassa pienjänniteverkkoon liittyneeltä pientuotantolaitokselta vaaditaan yli- ja alijännitetarkastelu sekä yli- ja alitaajuustarkastelu [27]. Seuraavaksi on esitelty tarkastelurajoja.

Taulukko 4.2.1. Saksan vaatimukset tuulivoimalaitoksille: jännite- ja taajuusreleiden asettelu [30]

Saksa: tuulivoimaloille		Toiminta-aika
Ylijännite	108 %	0,1 s
Alijännite	85 %	5 s
Ylitaajuus	51,5 Hz	0,1 s
Alitaajuus	47,5 Hz	0,1 s

Taulukossa 4.2.1. esitellään Saksassa tuulivoimaloille käytössä olevat taajuus- ja jänniterajat, joiden ulkopuolella tuotantolaitoksen tulee irrota verkosta.

Taulukko 4.2.2. Saksan vaatimukset mikrogeneraattoreille: Standardista EN50438. [31]

Saksa: mikrogeneraattoreille*		Toiminta-aika
Ylijännite	230 V + 15 %	0,2 s
Alijännite	230 V - 15 %	1,5 s
Ylitaajuus	51 Hz	0,5 s
Alitaajuus	47 Hz	0,5 s
LoM	ei vaadita	
*Vaatimukset ovat standardin EN50438 yleiset		

Taulukossa 4.2.2. on esitelty standardin EN 50438 [31] esittämät vaatimukset mikrogeneraattoreiden irtoamiselle verkosta. Standardissa on useille maille liitetty omat kansalliset vaatimustasot. Saksalle tällaisia vaatimuksia ei kuitenkaan ole esitetty. Siksi taulukon arvot ovat standardin yleisestä, kaikkia maita koskevasta osasta.

Verkonhaltijalla tulee olla pääsy erottimelle, jolla pientuotantolaitos voidaan kytkeä irti verkosta. Erotinta ei kuitenkaan vaadita, mikäli laite on teholtaan alle 4,6 kVA (yksivaiheinen) tai alle 30 kVA (kolmivaiheinen), ja mikäli invertterissä on tyyppitestattu suojaus, jossa jännite-, taajuus- ja impedanssitarkastelu noudattavat standardia German Standard DIN VDE 0126, April 1999. [27]

4.3. Tanska

Tanska koostuu Jyllannin niemimaasta ja noin 400 saaresta. Maalla on pinta-alaa noin 43 000 km². Tanskan väkiluku on noin 5,4 miljoonaa eli suunnilleen samansuuruinen Suomen kanssa, mutta pinta-alaltaan Tanska on lähes 8 kertaa Suomea pienempi. Kalatalous on merkittävä elinkeino Tanskassa. Teollisuustuotannon suurimpia aloja ovat elintarvikkeet, kemikaalit, koneet, metallituotteet, elektroniikka, kuljetusvälineet, olut sekä paperi- ja puutuotteet. Myös matkailu on tärkeä elinkeino. [24] Tanskassa sähköä tuotetaan erityisesti CHP-laitoksissa, mutta merkittävässä määrin myös tuulivoimalla.

4.3.1. Pienimuotoisen tuotannon yleistilanne

Tanskassa sähköntuotantokapasiteetti on sekoitus pieniä ja suuria laitoksia. Molemmissa kategorioissa merkittävin tuotantomuoto on yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto eli CHP. Myös tuulivoimakapasiteetti on merkittävä. [28]

Tanskan tuulivoimakapasiteetti on 25 % koko maan tuotantokapasiteetista, mutta sen osuus tuotannosta on selkeästi alhaisempi (noin 15 %). Esimerkiksi vuonna 2003 tuotannon osuus oli vain noin puolet kapasiteetin osuudesta (12,7 % kokonaistuotannosta). Vesivoimaa Tanskassa on vain marginaalinen määrä. [28]

Tanskan sähköntuotannon merkittävimmät trendit ovat olleet CHP:n ja tuulivoiman voimakas lisääntyminen. [28] Tanskalla on paljon kokemusta hajautetusta pienimuotoisesta sähkön tuotannosta, joka tarkoittaa Tanskan tapauksessa lähinnä tuulivoimaa. Tanskassa on myös käytössä oma Grid Code mikrotuotannolle, johon palaamme myöhemmin tässä luvussa.

4.3.2. Pienimuotoisen tuotannon tuet ja markkinoille pääsy

Tässä aliluvussa esitellään Tanskassa käytössä olevia pienimuotoisen tuotannon tukia sekä tuotannon markkinoille pääsyä. Huomattavaa on pientuulituotantoa koskeva ostopakko, jota käsitellään aliluvuissa 4.3.2.2.

4.3.2.1. Tuet

Tanskassa käytetään pienimuotoisen tuotannon tukimuotona kiinteitä preemioita markkinahinnan päälle. Tanskassa syöttötariffit ovat olleet varsin korkeat, mutta niitä on laskettu tuotannon lisääntyessä. Käytössä on myös investointitukia. [32]

Tanskassa uusiutuvia energianlähteitä käyttävää pientuotantoa on tuettu helpottamalla liittymisvaatimuksia. Uusiutuvia energialähteitä käyttävien, 10 tai 20 kilovoltin sähköverkkoon liittyvien voimalaitosten ei tarvitse maksaa mahdollisia verkon vahvistamisesta aiheutuvia kustannuksia. Lisäksi jakeluverkon siirtokustannukset on pidetty matalina. Näin on haluttu tukea hajautettua tuotantoa. Liittymismaksuna peritään liittämisen todellisia kustannuksia vastaava kustannus. [33]

4.3.2.2. Markkinoille pääsy ja mittaus

Tanskassa pienimuotoinen tuotanto on lähinnä tuulivoimaa. Tanskan valtion omistama Energinet.dk on velvoitettu ostamaan osan laitosten tuulisähkö. Tähän osaan kuuluvat muun muassa kaikki enintään 25 kW tehoiset tuulivoimalat, jotka on kytketty kulutuksen yhteyteen sekä kaikki ennen vuotta 2002 rakennetut tuulivoimalaitokset. [34]

Energinet.dk on velvoitettu ostamaan tuotettu sähkö sovitulla hinnalla, ja hoitamaan sähkön myynti sekä tasehallinta. Sähkön tuottajan ei tarvitse maksaa siirtotariffeja tai tasekustannuksia. Energinet.dk myy sähkön markkinoille. [34]

Mittausvaatimukset riippuvat verkon jännitetasosta. Pääsääntöisesti on pystyttävä mittaamaan verkosta otto ja verkkoon anto erikseen. Pienille, kulutukseen liitetyille alle 25 kW tuulivoimaloille sekä alle 6 kW aurinkovoimaloille nettomittaus on kuitenkin mahdollista [34].

4.3.3. Verkkoon pääsy ja liittäminen

Tässä luvussa käydään läpi Tanskassa voimassa olevia säädöksiä ja vaatimuksia, jotka koskevat pienimuotoisen tuotannon verkkoon liittämistä. Energinet.dk on julkaissut erilaisia ohjeita erikokoisen ja eri tuotantotapoja käyttävän tuotannon verkkoon liittämisestä. Kiinnostavin näistä ohjeista tämän työn kannalta on maan oma ohjeistus eli Grid Code [35] 11 kW tai pienempien laitosten verkkoon liittämiseksi.

Ohje täydentää CENELECIN standardin EN 50438 [31] mukaisia vaatimuksia ja tarkentaa minimivaatimukset laitoksen verkkoon liittämiseksi. Itse standardia EN 50438 käsitellään tarkemmin luvussa 7.

Ohjeistus koskee yksi- tai kolmivaiheista tuotantoa, jonka maksimi virta on 16 A ja joka liittyy yleiseen jakeluverkkoon. Ohjeistus ei koske tuotantopaikkoja, joissa useita pieniä laitoksia on liitetty samasta pisteestä ja niiden yhteenlaskettu teho ylittää 11 kW liittymispisteessä.

Taulukko 4.3.1. Tanskan releasetteluarvot mikrotuotantolaitoksen irtoamiselle [35]

Tanska: mikrotuotannolle*		Toiminta-aika
Ylijännite 1	230V +15 %	0,2 s
Ylijännite 2	230V +10 %	40 s
Alijännite	230V -10 %	10 s
Ylitaajuus	53 Hz	0,2 s
Alitaajuus	47 Hz	0,2 s
LoM**	2,5 Hz/s	0,2 s
*Kansalliset vaatimukset standardin EN50438 mukaan		

Laitteiston tulee kytkeytyä automaattisesti irti verkosta, mikäli taajuus tai jännite ei pysy taulukossa 4.3.1. määritellyissä rajoissa.

Tanskassa Grid Code vaatii, että Loss of Mains –tilanteita varten laitos on varustettu niin kutsutulla ROCOF-releellä (Rate Of Change Of Frequency -relay). Tällä varmennetaan, ettei laitos jää yksin syöttämään saarekettä, vaikka saarekkeen kuorma ja laitoksen tuotanto sattumalta olisivat samansuuruiset. Kun tuotantolaitos on epätahtigeneraattori, ROCOF-rele korvataan ylinopeusreleellä, jonka asettelu on 10-20 %. Loss of Mains -tilanteen jälkeen laitoksen tulee kytkeytyä automaattisesti takaisin verkkoon, kunhan jännite- ja taajuusvaatimukset ovat täyttyneet. [35]

Aktiiviset Loss of Mains –suojausmenetelmät, kuten taajuussiiirrettyjen virtapulssien syöttäminen verkkoon ja niiden vasteen tarkkailu, kiellettiin ja poistettiin käytöstä Tanskassa, sillä ne aiheuttivat tuotantolaitosten turhia irtoamisia, kun siirtoverkkoon kytkeytyi suuria reaktiivisia kuormia. [36] Tällaisia LoM-suojausmenetelmiä ei siis liene syytä käyttää Suomessa.

Vertailun vuoksi seuraavaksi on esitelty Tanskan tekniset vaatimukset tuulivoimaloille, jotka liittyvät alle 100 kV jänniteportaaseen [37]. Mikrotuotannon ja tuulivoiman ohjeistoissa havaitaan eroavaisuuksia.

Taulukko 4.3.2. Tanskan vaatimukset tuulivoimaloille [37]

Tanska: tuulivoimaloille		Toiminta-aika
Ylijännite 1	110 %	0,2 s
Ylijännite 2	106 %	60 s
Alijännite 1	90 %	10 s
Alijännite 2	0 %	0,1 s
Ylitaajuus	51,8 Hz	0,2 s
Alitaajuus	47,0 Hz	0,2 s

Tanskassa kaikki tuotantolaitokset tulee varustaa automaattisella ja kauko-ohjattavalla irtikytkentälaitteistolla tai katkaisijalla. Jakeluverkon toiminnan takaamiseksi sähköntuotantolaitteisto tulee varustaa valmiudella verkonhaltijan ja laitoksen väliseen tiedonsiirtoon. Tuotantolaitteisto tulee varustaa katkaisijalaitteella, joka voi irrottaa laitoksen verkosta etänä (remote-disconnect). Ulkoisen kytkinlaitteiston tulee irrottaa laitos, kun piirissä on vika. Pyydetessä verkkoyhtiöllä tulee olla pääsy tuotantolaitokselle, jotta se voi asentaa kauko-ohjauksen vaatimat kommunikaatiolaitteistot. [35]

4.4. Itävalta

Itävalta on sisämaavaltio Keski-Euroopassa. Sen pinta-ala on 84 000 km² eli noin 4 kertaa Suomea pienempi. Itävallan väkiluku on 8,3 miljoonaa eli yli puolitoistakertainen Suomeen nähden. Itävallan länsi- ja eteläosia hallitsee Alppien vuoristo. Maan itäosat ja pääkaupunki Wien sijaitsevat Tonavan jokilaaksossa. Itävallan talouden perustana ovat sekä teollisuus että maatalous. Myös matkailu on tärkeä tulonlähde. [24] Itävallassa tuotetaan sähköä lähinnä vesivoimalla, mutta alati merkittävämpiä määriä myös aurinkovoimalla.

4.4.1. Pienimuotoisen tuotannon yleistilanne

Itävallan maantieteellisestä sijainnista johtuen suurin osa sähköenergiasta tuotetaan vesivoimalla. Itävallassa on pitkät perinteet hajautetussa sähköntuotannossa. Vesivoimaa on käytetty myllyjen tehonlähteenä vuosisatoja. Monet näistä vesistä on nyttemmin valjastettu sähköntuotantoon. [38]

Itävallassa on yli 450 pienvesivoimalaa, joiden teho on keskimäärin 80 kW ja kokonaiskapasiteetti 36,8 MW. Vesivoiman osuus Itävallan sähköntuotannosta on 66 %. Uusiutuvien osuus koko maan tuotannosta on korkea: 69 %. [28] Tuulivoimakapasiteettia on vähän, vain noin 1,1 MW. [38]

Aurinkovoimakapasiteettia Itävallassa on noin 5 MW [38]. Aurinkosähkön käyttö on kuitenkin merkittävässä kasvussa. Aurinkosähkön käyttöön, erityisesti kotitalouksien yhteydessä, kannustetaan korkeilla tuilla.

4.4.2. Pienimuotoisen tuotannon tuet ja markkinoille pääsy

Tässä aliluvussa esitellään Itävallan pientuotannon tukirakenteita.

Pienimuotoisen tuotannon verkkoon pääsyä on helpotettu verkkotariffihelpotuksin. Alle 5 MW laitosten ei tarvitse maksaa verkkotariffeja. Mikäli verkkoa täytyy vahvistaa, maksaa sähkön tuottaja tarvittavat vahvistukset. [38]

Vuodesta 2000 eteenpäin jakeluverkonhaltijat ovat Itävallassa olleet velvoitettuja ostamaan tietyn määrän niin kutsuttua vihreää sähköä, jota on muun muassa tuulivoimalla, aurinkovoimalla sekä erilaisilla biopolttoaineilla tuotettu sähkö. Vihreän sähkön hinta on säädeltyä, ja kustannukset siirtyvät kuluttajille verkkomaksujen kautta. [28]

Itävallassa on käytössä syöttötariffit uusiutuvalle tuotannolle. Syöttötariffit vaihtelevat eri tuotantomuotojen ja laitosten koon välillä, ja niiden suuruus tarkastetaan vuosittain. Pääsääntöisesti pienimmillä laitoksilla on suurimmat syöttötariffit. [28]

Vihreän sähköntuotannon edistämiseksi Itävallassa otettiin käyttöön syöttötariffien lisäksi investointitukia lämmöntuotantoon. Pienten vesivoimalaitosten, modernien biomassapohjaisten laitosten, tuulivoimalaitosten, suurempien aurinkovoimalaitosten, biokaasulaitosten sekä maalämpöpumppujen rakentamiseen saa valtiolta 30 % tukea toteutuneisiin investointikustannuksiin. Tämän lisäksi voi saada myös muita tukia. [28]

4.4.3. Verkkoon pääsy ja liittäminen

Tässä aliluvussa esitellään Itävallan teknisiä reunaehtoja pientuotannon verkkoon liittämiselle.

Kun uusi tuotantolaitos haluaa liittyä verkkoon, kantaverkko-operaattorin tulee tarkastaa kestääkö verkko. Jos verkkoa on vahvistettava, sähköntuottaja maksaa vahvistukset. [38]

Taulukko 4.4.1. Itävallan määräykset mikrogeneraattoreille standardissa EN 50438 [31]

Itävalta: mikrotuotannolle*		Toiminta-aika
Ylijännite	230 V + 11 %	0,2 s
Alijännite	230 V - 15 %	0,2 s
Ylitaajuus**	51 Hz	0,2 s
Alitaajuus**	47 Hz	0,2 s
LoM***		5 s
*Kansalliset vaatimukset standardin EN50438 mukaan **Asettelujen on toimittava vähintään sallitulla jännitealueella ***LoM-suojauksen tulee noudattaa standardia ÖVE/ÖNORM E 2750		

Saarekekäytön estämiseksi Itävallassa pienjänniteverkkoon liittyneeltä laitokselta vaaditaan, että yli- ja alijännitetarkastelu sekä yli- ja alitaajuustarkastelu on tehtävä. Lisäksi verkonhaltijalla tulee olla pääsy erottimelle, jolla laitos voidaan kytkeä irti verkosta. Erotinta ei kuitenkaan vaadita, mikäli laite on nimellisteholtaan alle 4,6 kVA (yksivaiheinen) tai alle 30 kVA (kolmivaiheinen) tai mikäli käytössä on saarekekäytön estävä invertteri, joka täyttää standardin German Standard DIN VDE 0126, April 1999 tai standardin Austrian Standard ÖVE/ÖNORM E2750, Nov 2004 vaatimukset. [27]

4.5. Vertailu

Tässä aliluvussa on vertailtu edellä käsiteltyjen maiden tukikäytäntöjä sekä teknisiä ohjeistuksia. Luvussa havaitaan käytäntöjä olevan monia. Ensin on vertailtu tukia ja myöhemmin teknisiä vaatimuksia.

4.5.1. Taloudelliset tuet ja helpotukset

Tarkastelluissa maissa on käytössä erilaisia pientuotannon tukirakenteita. Kaikille maille yhteinen tukimuoto on syöttötariffit, joiden suuruus ja kohdennus kuitenkin vaihtelevat. Vallitsevana trendinä kuitenkin on, että kaikkein pienimmille laitoksille maksetaan kaikkein suurimpia tariffeja. Tällainen malli on järkevää, jos halutaan merkittävästi nostaa pientuotantomääriä valtion verkossa. Kuitenkaan pienimpien laitosten ylläpito syöttötariffein ei läheskään aina ole taloudellisesti kannattavaa.

Syöttötariffit vääristävät aina markkinoita ja lisäävät muiden sähkön käyttäjien kustannuksia. Voidaankin ajatella, että etenkin hyvin pienimuotoisen sähköntuotannon kohdalla tehokkain ja järkevin kannustin olisi oman ostosähkömäärän vähentäminen. Korkeilla sähkön hinnoilla puhutaan merkittävistä säästöistä.

Ainakin Itävallassa ja Tanskassa on käytössä myös investointitukia pienimuotoiselle uusiutuvalla tuotannolle. Investointituki kasvattaa uusiutuvien tuotantolaitosten rakennusastetta, mutta ongelmana on, ettei investointituki aseta minkäänlaisia tuotantovaatimuksia.

Saksa ja Espanja priorisoivat uusiutuvaa tuotantoa merkittävästi verkkoonliittämiskysymyksissä. Uusiutumaton tuotanto joudutaan ajoittain jopa ajamaan alle nimellistehon, jotta kaikki tuotettu uusiutuva tuotanto mahtuisi verkkoon. Varsinkin Espanjassa pullonkaulat ovat olleet ongelmallisia. Tällaisella tukimallilla lisätään uusiutuvan tuotannon osuutta maan tuotannosta, mutta ei ole järkevää ajaa esimerkiksi ydinvoimalaa vajaalla teholla.

Monet maat helpottavat pienimuotoisen uusiutuvan tuotannon verkkoon pääsyä antamalla helpotuksia verkkoonliittymiskustannuksissa. Pientuottajan ei tarvitse maksaa verkon vahvistuskustannuksia ja siirtotariffit ovat joko matalat tai niitä ei ole ollenkaan. Luvussa 5. käsitellään Suomen lainsäädäntöä ja havaitaan, että meillä on käytössä samanlainen malli.

Pientuotannon markkinoillepääsyä on käsitelty laajemmin luvussa 10. Todettakoon kuitenkin tässä, että pienimuotoisen tuotannon markkinoille saattaminen ei ole ongelmatonta. Espanjassa pienimuotoista tuotantoa myyvät aggregoijat, jotka keräävät suuremman ryppään pientuotantolaitoksia myytäväkseen. Tanskassa on määrätty pientuulivoiman ostopakko tietyille taholle. Itävallassa on myös käytössä malli, jossa tietyn tahon on ostettava tietty määrä uusiutuvaa tuotantoa. Tällaiset ostopakkomallit aiheuttavat aina ongelmia. Näitä ongelmia on käsitelty tarkemmin luvussa 10.

Käsitellyistä maista Espanjassa ja Saksassa kulutusta ja tuotantoa ei ole pakko mitata erikseen. Näin kuitenkin usein toimitaan syöttötariffietujen takia. Myöskään tuntimittausvaatimusta ei ole. Tanskassa kaksisuuntainen mittaus on pakollinen. Kuitenkin Tanskassa on mahdollista käyttää nettomittausta hyvin pienillä laitoksilla. Tällainen ei ole Suomessa sallittua. Netottaminen aiheuttaa lisäkuluja muille verkon asiakkaille sekä epätarkkuutta tasehallintaan, eikä siksi ole suositeltavaa. Mittausasioihin paneudutaan syvemmin luvussa 5.

4.5.2. Tekniset vaatimukset

Taulukossa 4.5.1. on esitelty eri maiden teknisiä vaatimuksia pientuotantolaitteen verkosta irtoamiselle.

Taulukko 4.5.1. Tekniset vaatimukset laitteiston toiminnalle.

	Ylijännite	Toiminta-aika	Alijännite	Toiminta-aika	Yli-taajuus	Toiminta-aika	Ali-taajuus	Toiminta-aika
Espanja	110 %	0,5 s	85 %	0,5 s	51 Hz	5 jaksoa	49 Hz	5 jaksoa
Saksa	230V + 15%	0,2 s	230V - 15%	1,5 s	51 Hz	0,5 s	47 Hz	0,5 s
Tanska	230V + 15%	0,2 s	230V - 10%	10 s	53 Hz	0,2 s	47 Hz	0,2 s
Itävalta	230V + 11%	0,2 s	230V - 15%	0,2 s	51 Hz	0,2 s	47 Hz	0,2 s

Taulukosta huomataan, että eri maiden yli- ja alijännitteen raja-arvot ovat melko samanlaiset. Maiden välillä on kuitenkin eroa toiminta-ajoissa. Espanjassa ylijännitteen toiminta-aika on muita pidempi.

Tanskan ja Saksan vaaditut toiminta-ajat alijännitteille ovat muita maita pidemmät, Tanskassa merkittävästi pidemmät. Tanskan vastaavat alijänniterajat ja toiminta-ajat suuremmalle tuulituotannolle ovat 10 sekuntia jännitteen ollessa 90 % nimellisjännitteestä. Tämä on siis sama kuin mikrotuotannolle. Kuitenkin isommille tuulivoimalaitoksille on asetettu lisärajoitus, että jos jännite katoaa kokonaan, laitoksen tulee irtautua 0,1 sekunnissa. Mikrotuotantolaitoksissa vastaavan suojauksen hoitaa Loss of Main –suojaus.

Taajuusrajat ovat tutkituissa maissa melko samanlaiset. Espanjassa taajuuden poikkeamista johtuvan irtoamisen toiminta-aika on kuitenkin selkeästi nopeampi kuin muissa maissa. Saksassa vaatimukset ovat löysimmät.

Taulukko 4.5.2. LoM-suojaus vertailluissa maissa.

	LoM	Toiminta-aika
Espanja	ei vaadita	
Saksa	ei vaadita	
Tanska	2,5 Hz/s	0,2 s
Itävalta		5 s

Taulukossa 4.5.2. on tarkasteltu tutkittujen maiden Loss of Mains –suojausta (LoM-suojausta). Espanja ja Saksa eivät vaadi erillistä LoM-suojausta kaikilta mikrotuotantolaitoksilta. Itävallassa vaaditaan laitoksen irtautuminen saarekkeesta 5 sekunnin kuluessa. Tanskassa vaadittu toiminta-aika on 0,2 sekuntia ja vaadittu metodi on ROCOF-rele asetteluarvolla 2,5 Hz/s. Näistä eroista voidaan päätellä, että LoM-suojaustarpeista ei ole vielä tarpeeksi tietoa, jotta yhtenäisiä käytäntöjä olisi muodostunut. Saareketilanteet ovat harvinaisia, mutta riskien minimoimiseksi Suomessa kannattanee vaatia LoM-suojausta, joka metodinsa ja toiminta-aikansa puolesta soveltuu muihin ehtoihin ja vaatimuksiin Suomessa. Tähän asiaan palataan luvussa 7.

5 Pienimuotoista tuotantoa koskevat säädökset

Tässä luvussa esitellään Suomen laista sekä erilaisista asetuksista ja suosituksista tulevia ehtoja ja velvoitteita pienimuotoisen sähköntuotannon ja erityisesti mikrotuotannon verkkoon liittämiseksi. Luvussa käsitellään sekä tuotantolaitosta että verkonhaltijaa koskevia velvoitteita.

Mikrotuotannolla käsitetään pienjänniteverkkoon liittyneet laitokset, jotka tuottavat sähköä pääasiallisesti kohteen omaan käyttöön. Verkkoon syöttö on satunnaista ja vähäistä.

5.1. Liittäminen ja maksuperiaatteet

Sähkömarkkinalain 9 §:n mukaan verkonhaltijan tulee pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää verkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät käyttöpaikat ja sähköntuotantolaitokset. [1]

Sähkömarkkinalain 14 b §:n [1] mukaan enintään 2 MVA:n laitoksilta tuotannon liittymismaksuun ei saa sisällyttää sähköverkon vahvistamisesta aiheutuvia kustannuksia. Voidaan siis periä ainoastaan kohdetta itseään palvelevasta verkon osasta aiheutuvat kustannukset. Jos tuotantolaitoksen liittäminen aiheuttaa suojausmuutoksia verkkoon, asiakas vastaa näistä kustannuksista [39].

Jos kohteen kulutus (verkosta otto) on suurempaa kuin kohteen tuotanto, peritään kohteelta normaalit käyttöpaikan liittymismaksut. Jos kohteen kulutus on pienempää kuin tuotanto, arvioidaan pelkkää kulutusta varten vaadittavan liittymän koko ja peritään vastaavan kokoisen kulutuskohteen liittymismaksu. Tämän ylittävältä osalta voidaan periä laskennallinen tuotannon liittymismaksun periaatteita vastaava osa. [1]

Edellä mainittu laskennallinen osuus voidaan määritellä esimerkiksi seuraavasti: Se on suuruudeltaan asiakkaan tuotantoa vastaavan kokoisen liittymän asiakasta palvelevan verkon rakentamiskulut, joista on vähennetty asiakkaan käyttöä vastaavan kokoisen liittymän rakentamiskulut asiakasta palvelevan verkon osalta. Pienimuotoiselle tuotannolle pätee yleensä tapaus, jossa kulutus on tuotantoa suurempaa.

Sähkömarkkinalain 14 b §:n [1] ja Valtioneuvoston asetuksen sähkömarkkinoista [2] mukaan pien- ja keskijänniteverkkoon liittyneeltä tuotannolta (verkkoon anto) veloitetaan enintään 0,07 c/kWh tuotannon siirtomaksua. Lisäksi voidaan veloittaa mittauspalvelusta ja muista lisäpalveluista. Käytöstä (verkosta otto) veloitetaan normaalit käyttöä koskevat maksut. Oman tuotannon kulutuksesta peritään yleensä maksuja vain yli 1 MVA:n laitoksilta. Tämä johtuu kantaverkkomaksujen määrittelyperiaatteista.

Kenellä tahansa on oikeus liittää tuotantolaitos verkkoon, kun tuotantolaitos täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset, sekä oikeus siirtää sähköä verkkoon, kun tuotantolaitoksen

liityntä ja mittaus täyttävät niille asetetut vaatimukset, ja kun tuottajalla on ostaja verkkoon siirtämälleen sähkölle. Pienimuotoisen sähköntuottajan ei aina ole helppoa löytää ostajaa sähkölleen. Tällaista tapausta on käsitelty aliluvussa 5.6.

5.2. Mittaus

Sähkön tuotanto tulee mitata tunneittain etäluettavalla sähkömittarilla. Kaikki olemassa olevat tuotantokohteet, joista sähköä siirtyy myös yleiseen jakeluverkkoon, tulee varustaa tuntimittauksella viimeistään vuoden 2010 loppuun mennessä. Uudet tuotantokohteet tulee varustaa tuntimittauksella välittömästi [40].

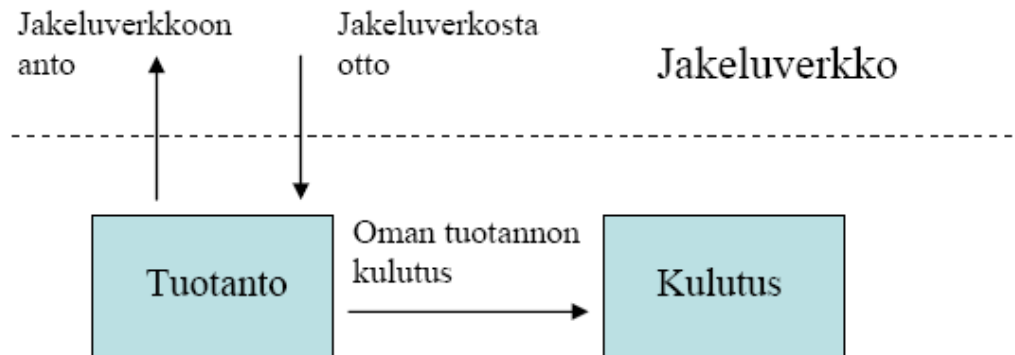
Maaliskuussa 2009 voimaan tulleen valtioneuvoston asetuksen mukaan myös sähkön kulutuskohde tulee mitata etäluettavalla tuntimittarilla. Kohteisiin, joissa on tällä hetkellä vanhanaikainen, ei-tuntimittaava mittari, tulee vaihtaa etäluettava tuntimittari vuoden 2014 alkuun mennessä. Poikkeuksena kuitenkin on, että verkonhaltijalla on oikeus poiketa etäluentaj- ja tuntimittausvelvoitteesta enintään 20 prosentissa jakeluverkon sähkönkäyttöpaikoista, jos poikkeuksen piiriin kuuluva sähkönkäyttöpaikka on varustettu enintään 3 x 25 A pääsulakkeilla tai käyttöpaikan sähkönkulutus on enintään 5 000 kilowattituntia vuodessa ja sähkö ostetaan sähkönkäyttöpaikkaan sähkömarkkinalain 21 §:ssä tarkoitetuilla ehdoilla (sähkö ostetaan toimitusvelvolliselta myyjältä). [40]

Kun pientuotantopaikassa on sekä sähkön tuotantoa että kulutusta, voidaan niitä nykylainsäädännön mukaan mitata yhdellä mittarilla. Valtioneuvoston asetuksen [40] mukaan enintään 3 x 63 A pääsulakkeilla varustettuun käyttöpaikkaan liitetty sähköntuotantolaitos ei vaadi omaa mittalaitetta, vaan riittää, että kohteesta mitataan erikseen sekä sähköverkosta otettu että siihen syötetty sähkö. Verkosta ottoa ja antoa ei saa netottaa, vaan mittalaitteessa tulee olla näille erilliset rekisterit. Paikka, jossa on sekä tuotantoa että kulutusta, tulee varustaa etäluettavalla tuntimittauslaitteistolla. Tuotannon mittausta on havainnollistettu kuvassa 5.1.

Lainsäädäntö ei tunne tilannetta, jossa verkkoon syötetään sähköä, jota ei myydä markkinoille. Aliluvussa 5.6. tullaan kuitenkin toteamaan, että tällainen toiminta on mahdollista ja tällaisia kohteita on verkossa. Tällaisessa tilanteessa lainsäädäntö ei suoraan vaadi tuotannon tuntimittausta vaan voidaan käyttää perinteistä mittaria, joka mittaa ainoastaan kulutuksen, eli pyörii vain yhteen suuntaan. Netottavaa eli kahteen suuntaan pyörivää mittaria ei saa käyttää. Tällaisiinkin kohteisiin kuitenkin suositellaan asennettavaksi tuntimittauslaitteisto. Jos tällaisessa kohteessa myöhemmin halutaan myydä verkkoon syötettävää sähköä markkinoille, tulee laitteisto joka tapauksessa vaihtaa.

Jos tuotantolaitos on sijoitettu yli 3 x 63 A käyttöpaikkaan, jossa on sekä verkosta ottoa että verkkoon antoa, tulee käyttöpaikalla lisäksi mitata oman tuotannon kulutus. Tämä vaatimus koskee ainoastaan käyttöpaikkoja, joissa olevaa tuotantoa myydään markkinoille. Oman tuotannon kulutus saadaan vähentämällä tuotetusta sähköstä

tuotantolaitoksen omakäyttösähkö ja verkkoon syötetty sähkö. Omakäyttösähkö on tuotantolaitosjärjestelmän itsensä kuluttama sähkö.



Kuva 5.1. Tuotannon mittaus. [67]

5.2.1. Mittauksen vastuut ja mittarin ominaisuudet

Verkonhaltija on vastuussa verkosta oton ja annon mittaamisesta. Mittari on verkonhaltijan omistuksessa ja verkonhaltija huolehtii sen luennasta.

Oman tuotannon kulutuksen mittaamisvastuu on sähkön tuottajalla. Alle 3 x 63 A pääsulakkeilla varustetuilta käyttöpaikoilta, joissa on myös tuotantoa, ei kuitenkaan vaadita oman tuotannon kulutuksen mittausta. Tämä johtaa verotukselliseen ongelmaan, jota on käsitelty aliluvussa 5.4.

Erilaiset etäluettavat mittarit käsittelevät vaihekohtaista tehonsiirtoa eri tavoin. On olemassa etäluettavia mittareita, jotka itseisarvoistavat tuotannon. Tällainen mittari on käyttökelvoton tuotantokohteessa, koska silloin verkkoon syötetty energia näkyy mittarilla verkosta otettuna energiana. [41] Tällaisia mittareita ei siis voida käyttää tuotantokohteissa, vaan mittari tulee vaihtaa kohteeseen soveltuvaksi.

Netottavaa eli kahteen suuntaa pyörivää mittaria ei saa käyttää missään tapauksessa, kun kohteessa on sekä kulutusta että tuotantoa. Tällaisen mittauskäytännön salliminen vääristäisi markkinoiden toimintaa ja eriarvoistaisi kulutuskohdeiden siirtohinnoittelua. Lisäksi netottaminen aiheuttaa vääristymän tasehallinnassa.

5.2.2. Kustannukset

Energiateollisuus ry:n Verkostotöiden kustannusluettelon [68] tietojen mukaan mittarin vaihtokustannukset, ilman mittaustiedon hallintajärjestelmästä aiheutuvia kustannuksia, ovat luokkaa 210 euroa asiakasta kohden. 15 vuoden pitoajalla tämä tarkoittaa noin 15

euron kustannuksia vuodessa. Nämä luvut ovat vain suuntaa antavia, mutta niistä voidaan todeta kustannusten suuruusluokka.

Mittarin vaihtamiskustannuksia ei voida kuitenkaan suoraan laskea mikrotuotannon lisäkustannuksiksi, sillä kuten tässä luvussa on todettu, valtioneuvoston asetuksen mukaan jatkossa suurin osa kohteista on valmiiksi varustettu kahteen suuntaan mittaavalla, etäluettavalla tuntimittarilla.

Käyttöpaikka voi kuulua mittausasetuksessa mainittuihin poikkeuskäyttöpaikkoihin, eikä sinne ole asennettu tuntimittaria. Kun tällaiseen kohteeseen asennetaan pienimuotoista tuotantoa, jota ei myydä markkinoille, voidaan se mitata kohteen vanhalla mittarilla, mikäli mittari ei netota. Tuntimittauslaitteiston asennus on kuitenkin suositeltavaa. Tällaisesta mittarin vaihdosta ei ole suotavaa periä kuluja asiakkaalta, koska verkkoon siirtynyttä sähköä mitataan käytännössä vain verkonhaltijan tarpeisiin.

Jos tuotantoa halutaan myydä markkinoille ja kohteessa on perinteinen mittari, tulee kohteeseen asentaa uusi, ehdot täyttävä mittari. Mittarin vaihdon aiheuttamat kustannukset, eli kertaluonteisen mittarointimaksun, verkkoyhtiö voi laskuttaa asiakkaalta. Mittarin itsensä maksaa verkonhaltija, sillä se on verkonhaltijan omaisuutta. Niiltä kohteilta, joissa on jo tuntimittari, verkonhaltija voi periä niin kutsutun ohjelmointimaksun, eli maksun kaksisuuntaisen mittausominaisuuden käyttöönotosta.

Kun kulutuskohteeseen tulee myös tuotantoa, jota myydään markkinoille, voi verkonhaltija laskuttaa kohteelta niin kutsuttua jatkuvaa mittausmaksua, joka voi olla erisuuruinen kuin pelkän kulutuskohteen mittausmaksu. Kohteilta, joissa on sekä kulutusta että markkinoille myytävää tuotantoa, perittävä mittausmaksu tai verkkopalvelun perusmaksu voi perustellusti olla hieman suurempi kuin pelkän käyttökohteen, koska tällöin muun muassa kohteiden taseselvittävät tiedot kaksinkertaistuvat.

5.3. Verkonhaltijan ja sähköntuottajan väliset sopimukset

Kaikissa liityntäpisteissä, joissa sähkönsyöttöä jakeluverkkoon ei ole estetty, on noudatettava tuotantopaikkoja koskevia liittymis- ja verkkopalveluehtoja. sähköntuotannon liittymisehtojen (TLE 05) [43] ja sähköntuotannon verkkopalveluehtojen (TVPE 05) [44] mukaan asiakkaan on tehtävä tuotantoa koskevat liittymis- ja verkkopalvelusopimukset jakeluverkkoyhtiön kanssa, kun asiakas syöttää sähköä yleiseen jakeluverkkoon.

Jos sähkönkäyttöpaikalla on sähköntuotantolaitteisto, joka toimii rinnan jakeluverkon kanssa siten, että sähköä siirretään jakeluverkkoon, on sellaisen sähköntuotantolaitteiston verkkopalveluehdoista sovittava erikseen sähköntuotannon verkkopalveluehtojen (TVPE 05) [44] mukaisesti. Tämä määrätään yleisissä verkkopalveluehdoissa (VPE09) [46].

Jos verkkoon siirretään niin kutsuttua ylijäämä sähköä, eli sähköä, jota ei myydä markkinoille, tulee verkonhaltijan kanssa tehdä erillinen sopimus, johon voidaan käyttää tuotannon verkkopalveluehtoja (TVPE 05) soveltuvin osin.

Kun kohteessa on sekä kulutusta että tuotantoa, tulee kulutuksen osalta noudattaa yleisiä verkkopalveluehtoja (VPE09) [46].

5.4. Verovelvollisuus

Mikäli sähkön tuottaja myy sähköään markkinoille, tulee hänen maksaa veroa tuottamansa sähkön itse käytetystä osuudesta, joka saadaan vähentämällä voimalaitoksen mitatusta kokonaistuotannosta omakäyttölaitteiden kuluttama sähkö sekä mitattu, verkkoon toimitettu sähkö. [47]

Pienimuotoisetkin sähköntuotantolaitokset, jotka syöttävät sähköä verkkoon ovat siis verovelvollisia itse käyttämästään tuotannon osasta. Mittausasetuksen mukaan alle 3 x 63 A pääsulakkeilla varustetuissa kohteissa ei kuitenkaan tarvitse mitata itse tuotetun sähkön itse käytettyä osuutta [40]. Tässä on selkeä ristiriita.

Valtiovarainministeriön (VM) mukaan pientuottaja ei vapaudu sähköverovelvollisuudestaan, vaikka mittausasetuksen mukaan omaa tuotantoa ei tarvitsekaan mitata. Sähköveroa varten tuotantomäärä tulisi periaatteessa kuitenkin mitata, mikäli tuotantoa halutaan myydä markkinoille. Tämä on siis ongelma mittauksen kannalta. VM pohtii ratkaisua ongelmaan parhaillaan [48].

Itse käytetyn sähkön verovelvollisuus voidaan nähdä pientuotannon esteenä. Pienimmissä tuotantolaitoksissa itse käytetyn sähkön mittaaminen ei ole järkevää. Tässä työssä suositellaankin hyvin pienimuotoisten tuotantokohteiden oman tuotannon itse käytetyn osuuden verovelvollisuuden poistamista.

Verovelvollisuus tulisi poistaa kohteissa, joissa on alle 3 x 63 A pääsulakkeet. Tällöin kohteessa tuotetun itse käytetyn sähkön verottaminen olisi linjassa Mittausasetuksen kanssa, jonka mukaan kyseisistä osuutta ei siis tarvitse mitata.

5.5. Markkinoille pääsy

Monissa pienimuotoisissa tuotantolaitoksissa, ja erityisesti mikrotuotannon kohdalla, tuotannon syöttö jakeluverkkoon on satunnaista ja vähäistä. Tällaiselle tuotannolle on vaikea löytää ostajaa, sillä pienten tuotantolaitosten hallinnointi aiheuttaa sähkönostajalle yleensä enemmän menoja kuin tuloja. Lainsäädäntö ei määrää ostovelvoitetta kenellekään markkinaosapuolelle ja verkonhaltijan rooli sähkön ostajana on ristiriidassa sähkömarkkinoiden toimintaperiaatteiden ja eri toimijoille määrättyjen roolien ja vastualueiden kanssa.

Nykyisten sopimusehtojen mukaan verkkoon syöttö tulisi estää, jos sähkölle ei löydy ostajaa. Verkonhaltija voi kuitenkin joustaa tässä asiassa niin kauan, kunnes tuottaja löytää markkinakumppanin, tai asia ratkeaa esimerkiksi lainsäädännön muutoksella. Tuottajan löytäessä itselleen markkinakumppanin astuvat voimaan normaalit tuottajaa koskevat velvoitteet, kuten edellisessä luvussa käsitelty verovelvollisuus kohteessa käytetystä itse tuotetusta sähköstä.

Seuraavassa aliluvussa 5.6. käsitellään tapausta, jossa sähkön tuottaja ei löydä ostajaa tuotannolleen, mutta haluaa silti käyttää sähköverkkoa ”puskurina” ylituotannolle. Verkkoyhtiö voi tällöin hyväksyä verkkoon syötön erillisellä sopimuksella.

5.6. Ylijäämä sähköön suhtautuminen

Mikäli tuotantolaitoksen haluaa liittää verkkoon vaikka sähkölle ei ole ostajaa, on tehtävä erillinen sopimus verkkoyhtiön kanssa. Verkonhaltija ei tällöin maksa asiakkaalle markkinoiden mukaista korvausta eikä peri verkkopalvelumaksua sähkön siirrosta. Tällaisessa sopimusmallissa verkkoon syötetty sähkö ei näy markkinoilla eikä sähkötaseissa, vaan vähentää jakeluverkonhaltijan häviöiden määrää. Myöskään itse käytetyn sähkön verovelvollisuutta ei tällöin ole.

Kun pienimuotoista tuotantoa on vähäisiä määriä, tällainen sopimusmalli toimii. Jatkossa pientuotannon lisääntyessä voi eteen tulla ongelmia tasehallinnan kannalta. Näitä asioita on käsitelty lyhyesti luvussa 10. Tasehallinta ja sen toteuttaminen erittäin pienimuotoisen tuotannon osalta vaativat jatkossa lisäselvityksiä.

6 Mikrotuotannon määritteleminen

Tämän luvun tarkoituksena on määritellä, mitä mikrotuotannolla käsitetään tässä työssä. Määrittely on tärkeää työn loppuosien kannalta, sillä niissä esitetään tekniset vaatimukset mikrotuotannon verkkoon liittämiseksi.

Määrittelyä kaivataan, jotta voidaan tukeutua tiettyyn standardiratkaisuun. Määritelmässä onkin huomioitu olemassa olevat standardit sekä kansainväliset ohjeet. Näin saadaan ajan kanssa kehitettyä standardoitu ratkaisu, jonka olemassaolosta on hyötyä sekä verkonhaltijalle, laitevalmistajalle, asentajalle että sähköntuottajalle.

Tässä luvussa määritellään tekninen liittämisraja yksivaiheiselle tuotannolle. Työssä määritelty yleinen mikrotuotannon raja on abstraktimpi raja ja määritelty lähinnä auttamaan työn myöhempien osien määrittelemistä. Yksivaiheisen tuotannon rajauksen on kuitenkin tarkoitus olla sitovampi raja, jota verkonhaltija voi käyttää ohjeena, kun asiakas haluaa liittää tuotantoa verkkoon.

Tässä työssä lähdetään siitä, että mikrotuotantolaitos on laitos, joka on kytketty yleiseen jakeluverkkoon joko suoraan tai rakennuksen sähköverkon kautta. Mikrotuotantolaitos käy rinnan yleisen jakeluverkon kanssa. Mikrotuotanto rajataan koskemaan laitoksia, jotka tuottavat sähköä ensisijaisesti kohteen omaan käyttöön. Tuotannon syöttö jakeluverkkoon on satunnaista ja vähäistä.

6.1. Tekninen raja yksivaiheiselle tuotannolle

Yksivaiheinen sähköntuotanto on haastavampaa verkolle kuin kolmivaiheinen. Yksivaiheinen syöttö aiheuttaa epätasapainoa ja esimerkiksi välkyntää verkkoon kolmivaihesyöttöä helpommin. Näistä syistä johtuen yksivaiheiselle tuotannolle on hyvä asettaa raja, jota suurempia laitteistoja ei enää saa kytkeä yksivaiheisesti verkkoon.

Yksivaihesyöttöä on hyvä käsitellä kuten yksivaiheisia kulutuslaitteitakin. Pääperiaatteena rakennuksissa on, ettei yksivaiheisia pistorasioita ole kytketty yli 16 A sulakkeisiin. Tämä raja on perusteltu raja myös yksivaiheiselle tuotannolle.

Kun yksivaiheisen tuotannon suurin sallittu sulakekoko on 16 A, yksivaiheinen tuotantolaitos saa olla maksimiteholtaan 3,68 kW. Kuitenkin mikrotuotantolaitosten osalta suositellaan aina kolmivaihelaitteiston käyttöä.

16 A kokorajaa voidaan pitää perusteltuna. Jos tätä suurempia laitteita liitetään verkkoon yksivaiheisesti, tulee ongelmia muun muassa pienjänniteverkon mitoituksen kanssa. Ainakin Tanskassa tätä rajaa on käytetty yksivaiheisille laitteille. 16 A rajausta tukee myös se, että mikrotuotantoa koskeva standardi EN 50438 käsittää maksimissaan 16 A laitteistot.

Keskusteluissa asiantuntijoiden kanssa [49] nähtiin, että jos yhden liittymän takana on useampi yksivaiheinen tuotantolaitos, verkonhaltijan tulee voida vaatia, että tuotantolaitokset jaetaan tasaisesti eri vaiheille. Verkonhaltijalla tulee olla myös mahdollisuus määritellä, mihin vaiheeseen asiakas liittää laitoksensa. Muutoin ei voida taata tasaista kuormitusta yhden muuntopiirin eri vaiheille. Muutenkin verkonhaltijalla olisi hyvä olla tieto, millä vaiheella laitteita on.

Tässä työssä on siis tultu siihen tulokseen, että yksivaiheista tuotantoa ei saa liittää verkkoon mikäli se liittyy yli 16 A sulakkeilla. Yksivaiheinen tuotantolaitos saa siis maksimissaan tuottaa noin 3,7 kW tehoa. Lisäksi verkonhaltijan tulee tietää, millä vaiheella laitteita on. Verkonhaltijalla tulee olla mahdollisuus vaikuttaa siihen, mille vaiheelle uusia laitoksia kytketään.

6.2. Mikrotuotannon yleinen määrittely

Tämän työn loppuosien kannalta on tärkeää tietää, minkä kokoinen tuotanto käsitetään mikrotuotannoksi tässä työssä. Standardin EN 50438: Requirements for the connection of micro-generators in parallel with public low-voltage distribution networks mukaan mikrotuotantoa on tuotanto, joka liittyy maksimissaan 16 A per vaihe yksi tai kolmivaiheisena jännitetasolle 230/400 V ja toimii rinnan jakeluverkon kanssa. [31]

Mikrotuotannon rajaksi on tässä työssä otettu sama raja kuin standardissa EN 50438, sillä on hyvä, että Suomessa noudatetaan samoja ohjeistuksia kuin muuallakin Euroopassa. Tämä on hyvä siksi, että mikrotuotannon liitälaitteet tilataan yleensä valmiina ulkomailta.

Yksivaiheisen tuotannon liittymisraja on 16 A, joka vastaa tuotantolaitoksen maksimitehoa 3,68 kW. Tässä työssä jatkossa käsitetään mikrotuotantona maksimissaan 16 A sulakkeisiin liitetty tuotanto. Kolmivaiheisena liitetylle tuotannolle tämä tarkoittaa maksimitehoa 11 kW. Tässä työssä mikrotuotannoksi käsitetään siis suuruusluokaltaan alle 11 kW kolmivaiheiset laitokset sekä alle 3,7 kW yksivaiheiset laitokset.

Tässä työssä määritettyjä ehtoja voidaan tarpeen mukaan soveltaa myös 11 kW suuremmille laitoksille, esimerkiksi muutamien kymmenien kilowattien tuotantolaitoksille. Raja on tehty teknisten speksien määrittämisen helpottamiseksi. Teknisiä ohjeita voi halutessaan soveltaa myös muulle pienimuotoiselle hajautetulle sähköntuotannolle. Sitä, tarvitaanko suurempiin kuin 16 A sulaketasoihin liittyville laitoksille omia teknisiä ohjeita, tulee tarkastella erikseen tämän työn ulkopuolella.

7. Vaatimukset laitteistoille

Tässä luvussa käydään läpi vaatimuksia, jotka mikrotuotantolaitteiston on täytettävä, jotta se voidaan turvallisesti ja riittävin teknisin edellytyksin liittää yleiseen sähkönjakeluverkkoon. Luvussa käsitellään teknisiä vaatimuksia laitteistolle sekä vaatimuksia siitä, mitä toimenpiteitä laitoksen haltijan tulee tehdä, ja millaisia ilmoituksia on tehtävä verkonhaltijalle ennen liittämistä. Luvussa käydään myös läpi yleiset sähkönlaatuvaatimukset, sekä käsitellään mikrogeneraattoreiden vaikutusta sähkönlaatuun.

7.1. Yleistä

Tässä aliluvussa listataan yleisiä käytäntöjä, joita tulee noudattaa mikrotuotantolaitosta liitettäessä. Tietoa on kerätty keskustelemalla eri jakeluverkonhaltijoiden kanssa, asiaa koskevista standardeista sekä Pöyry Energia Oy:n vuonna 2006 tekemästä selvityksestä [50].

Liitettäessä mikrotuotantolaitos verkkoon tulee huomioida seuraavat asiat:

- Sähköverkkoyhtiöön tulee ottaa yhteyttä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, kun tuotantolaitos halutaan liittää paikalliseen jakeluverkkoon. Siten tekniset vaatimukset liittämiseksi saadaan selvitettyä ja toimitettua tuotantolaitoksen suunnittelijalle, asentajalle ja toimittajalle mahdollisimman pian. Samoin verkonhaltija voi alkaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa suunnitella ja toteuttaa mahdollisia jakeluverkon muutostöitä, kuten relesuojauksen asettelujen tarkastamisia.
- Sähköntuottajan tulee laatia tai laadituttaa tarvittavat suunnitelmat verkkoon liittämiseksi, kuten pääkaaviot, suojaus- ja ohjauskaaviot, maadoituskaaviot sekä vikavirtalaskelmat.
- Sähköasennukset tulee tehdä voimassa olevien säädösten mukaisesti. Säädökset löytyvät standardista SFS 6000 [52] sekä erityisstandardeista. Asennuksen saa suorittaa vain sähköpätevyys omaava ammattihenkilö.
- Verkkoyhtiön kanssa tulee varmistaa laitteistojen yhteensopivuus.
- Laitteille tulee tehdä käyttöönottotarkastus, josta tulee laatia tarkastuspöytäkirja. Tarkastuksen tekeminen on asennustyön tekevän urakoitsijan vastuulla.
- Ennen käyttöönottoa jakeluverkonhaltijalle tulee tehdä ilmoitus ja toimittaa koestus- ja käyttöönottopöytäkirjat.
- Myös irtikytkemiseen tai laitoksen muuttamiseen tarvitaan ilmoitus ja lupa jakeluverkonhaltijalta [31].

Sähköntuottajan tulee toimittaa jakeluverkonhaltijalle seuraavat laitosta koskevat tiedot:

- Laitoksen yleiset tekniset tiedot kuten käyttötiedot, teholähde sekä generaattorilaitteiston tiedot (tyyppi, nimellisteho, tehokerroin, käynnistysvirta, oikosulkuteho, maksimiteho...)

- Laitoksen verkkoon kytkeytymisjärjestelmän tiedot (kytkimet ja automatiikka)
- Tiedot laitoksen sähköisestä suojauksesta (releet ja suojausasetukset)
- Laitoksen pää-, suojaus-, ja maadoituskaaviot sekä tarvittavat vikavirtalaskelmat

Käyttäjällä on vastuussa laitoksen asianmukaisesta huollosta ja rutiinitestauksesta. Nämä toimenpiteet on teetettävä pätevillä alan ammattilaisilla.

7.2. Verkkoon syöttötavat

Mikrotuotantolaitokset voidaan jakaa kolmeen ryhmään riippuen niiden tavasta syöttää sähköä verkkoon: epätahtigeneraattorit, tahtigeneraattorit sekä invertterikäytöt. Näistä invertterikäyttö on yleisin mikrotuotantolaitoksissa. Syöttötavalla on merkitystä erityisesti laitoksen syöttämiin oikosulkuvirtoihin. Eri tavat tuottaa energiaa ja syöttää sitä verkkoon on esitelty seuraavaksi.

7.2.1. Staattiset tehokonvertterit eli invertterit

Invertteri toimii rajapintana energialähteen ja verkon välillä. Invertteri muuttaa yhden muotoista sähköä toiseen muotoon ja sitä ohjataan ja se suojataan invertterin sisäisillä elektronisilla laitteilla. Sisäinen ohjausyksikkö havaitsee epänormaali jännitteet, virrat ja taajuudet ja pysäyttää verkkoon syötön nopeasti, jos rajat ylittyvät. Se kontrolloi myös tahdistusta ja käynnistystä. Invertterissä ei ole liikkuvia osia vaan puolijohdekytkimiä. Niiden katkaisukyky on yleensä mekaanisia kytkimiä nopeampi. [51]

Invertterin toiminta riippuu suuresti sen suunnittelusta ja asettelusta. Esimerkiksi oikosulkutilanteissa tyypillisesti oletetaan, että oikosulkuvirta näkyy virtapiikkinä, jolla on nimellisvirran amplitudi jollain kertoimella kerrottuna. Invertterien oikosulkuvirtavaikutuksen on havaittu olevan 10-20 % siitä mitä tahtigeneraattorilla. [51]

7.2.2. Epätahtigeneraattorit

Epätahtigeneraattori toimii kuten epätahtimoottorikin, paitsi että normaalikäytössä sen pyörimisnopeus on hieman korkeampi kuin sähköjärjestelmän tahtinopeus. Epätahtigeneraattoreita käytetään yleisesti voimalaitoksissa, joiden täytyy ainoastaan toimia rinnan jonkin toisen järjestelmän kanssa. Epätahtikoneet keräävät tarvitsemansa viritysvirran rinnakkaisesta järjestelmästä ja käyttävät siksi paljon reaktiivista loistehoa. Tämä aiheuttaa jännitteen alenemaa ja lisää häviöitä verkossa. [51]

Epätahtikoneet eivät pysty pitämään yllä merkittäviä vikavirtoja pitkiä aikoja. Kuitenkin ne voivat syöttää suuren määrän virtaa lyhyen transienttajan. Tällä voi olla vaikutusta sähköjärjestelmän toimintaan. [51]

7.2.3. Tahtigeneraattorit

Tahtigeneraattorit voivat toimia itsenäisesti ilman muita energianlähteitä. Ne voivat myös toimia rinnan muiden lähteiden kuten jakeluverkon kanssa, mikäli käynti on tahdistettu ja suojaus riittävä. Saarekekäytön estoon tulee kiinnittää erityistä huomiota. Tahtikoneiden taajuus, vaihekulma ja jännitetaso tulee tahdistaa verkon kanssa. Mikäli yksikkö putoaa käytön aikana tahdistaa, tulee se välittömästi erottaa järjestelmästä, jotta vältetään sähkön laatuongelmilta. [51]

Tahtikoneet voivat ylläpitää vikavirtaa paljon pidempään kuin epätahtikoneet. Tästä syystä suojaus on kriittistä. [51]

7.3. Suojauksen asettamat vaatimukset laitteistolle

Tuotantolaitteistoja koskevat monet standardit. Mikrotuotantolaitteistoille on lisäksi kirjoitettu oma standardi [31]. Näitä standardeja ja muita vaatimuksia käsitellään tässä aliluvussa.

Standardissa SFS 6000 [52] Pienjänniteasennukset kohdassa 5-55 sanotaan, että mikäli generaattorilaitteisto on tarkoitettu toimimaan rinnan yleisen jakeluverkon kanssa, on huolehdittava siitä, ettei se aiheuta häiriöitä verkkoon tai muihin sähköasennuksiin. Generaattorilaitteisto on varustettava suojalaitteilla, jotka kytkevät laitteiston irti yleisestä verkosta, jos verkkosyöttö katkeaa, tai jos jännite tai taajuus generaattorilaitteiston navoissa poikkeaa normaaliverkon ilmoitetuista arvoista. Suojauksesta on sovittava aina verkonhaltijan kanssa erikseen. Generaattori ei myöskään saa kytkeytyä verkkoon, kun verkon jännite tai taajuus ei ole annetuissa rajoissa. Standardi sanoo myös, että generaattorilaitteisto on varustettava laitteilla, joilla sen voi erottaa yleisestä jakeluverkosta. Näiden laitteiden on oltava jatkuvasti verkonhaltijan käytettävissä.

Vian sattuessa mikrotuotantolaitoksessa tulee suojauksen erottaa laitos välittömästi muusta verkosta. Mikrovoimalan tulee irrota myös kaikissa verkkovioissa, jotka tapahtuvat sellaisessa verkon osassa, johon mikrotuotantolaitos voi vaikuttaa esimerkiksi muuttamalla oikosulkuvirtoja. Laitteen valmistajan tulee aina taata, että laitteen suojaus täyttää lain ja standardien asettamat irtoamisvaatimukset.

Eurooppalainen standardi EN 50438 Requirements for the connection of micro-generators in parallel with public low-voltage distribution networks [31] määrittää vaatimukset verkkoon liitettävälle mikrogeneraattorille. Standardi ottaa kantaa myös tuotannon laatuun ja riittävään tiedottamiseen mikrotuotantolaitoksen vaikutuspiirissä työskenteleville sähköasentajille.

Standardin laajuus sisältää kaikki mikrogeneraattorityypit, jotka toimivat joskus tai koko ajan verkon rinnalla. Valmistajan tulee tarjota asennusohjeet tämän standardin ja kansallisten säädösten mukaisesti. Verkonhaltijan tulee voida antaa laitteiston omistajalle

tähän standardiin pohjautuva selkeä ohjeistus siitä, miten asennus ja käyttö tulee suorittaa.

Kuten luvussa 6. on todettu, standardi EN 50438 koskee mikrotuotantolaitoksia, jotka liittyvät enintään 16 A sulakkeisiin. Täten standardi rajaa yksivaiheisen tuotantolaitoksen maksimikooksi noin 3,7 kW ja kolmivaiheisen laitoksen maksimikooksi noin 11 kW. Standardia voidaan kuitenkin parempien ohjeistusten puuttuessa soveltaa myös suuremmille laitoksille, jos ne toimivat kulutuksen kanssa rinnan ja verkkoon syöttö on satunnaista tai vähäistä.

7.3.1. Liittymän yleissuojaus

Mikrotuotantolaitos ei saa haitata verkon toimintaa eikä alentaa verkon turvallisuutta. Suojalaitteet voivat olla liitettynä mikrotuotantolaitoksen laitteisiin tai ne voivat olla erillisiä laitteita. Suojauksen tulee täyttää standardin EN 60255-6 Electrical relays: Measuring relays and protection equipment [53] vaatimukset. Mikäli samalla suojauslaitteella halutaan suojata useampia generaattoreita, tulee tästä keskustella verkonhaltijan kanssa.

Liittymän suojauksen tulee varmistaa, että mikrotuotantolaitos lakkaa syöttämästä verkkoon, kun mikä tahansa aseteltu parametri ylittää tai alittaa asetteluarvon. Laitoksen tulee irtautua kaikissa laitevioissa eikä laitos saa koskaan alkaa syöttämään sähköä verkkoon, joka ei täytä asetteluarvojen vaatimuksia.

Verkosta erottaminen voidaan tehdä sopivilla mekaanisilla kontaktoreilla tai elektronisilla kytkimillä. Mikäli elektroninen kytkin ei toimi, tulee laitoksen lakata tuottamasta sähköä tai irrota verkosta muulla tavoin. Elektroninen kytkinlaite tulee spesifioida mikrotuotantolaitoksen valmistajan määrittämän ylijänniteluokituksen mukaan ja vuotovirta auki kytkettynä ei saa olla enempää kuin 0,1 mA riippumatta terminaalijännitteestä.

SFS 6000 [52] mukaan generaattorin irrottamiseksi verkosta tulee olla keino. Jakeluverkon haltijalla täytyy olla joko rajoittamaton pääsy kytkimelle tai kaukokytkentämahdollisuus. Tämä vaatimus on tiukka hyvin pienille sähkön tuotantolaitoksille. Tähän vaatimukseen palataan luvussa 9., jossa sille mietitään vaihtoehtoisia ratkaisuja.

Moni kuluttaja haluaisi varmasti käyttää mikrotuotantolaitostaan sähköntuotantoon esimerkiksi sähkökatkotilanteissa, kun verkko on jännitteetön. Mikäli näin halutaan toimia, tulee asentaa kaksoiskytkentämahdollisuus, jossa toisella kytkennällä mikrotuotantolaitos toimii verkon kanssa rinnan ja toisella kytkennällä täysin verkosta erotetussa saarekkeessa. Tällaiseen käyttöön voi kuitenkin olla vaikeaa käyttää esimerkiksi tuulivoimaa, sillä sen tuotanto on harvoin riittävän tasaista turvalliseen saarekekäyttöön.

Mikrotuotantolaitoksen tulee irrota verkosta, mikäli verkon jännite tai taajuus ei pysy annetuissa rajoissa. Nämä rajat on annettu standardissa EN 50438 ja esitetty taulukossa 7.1.

Taulukko 7.1. Liittymän suojauksen asetteluarvot [31]. U_n on nimellisjännite.

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite -taso 1	1,5 s	$U_n + 10 \%$
Ylijännite -taso 2	0,15 s	$U_n + 15 \%$
Alijännite -taso 1	5 s	$U_n - 15 \%$
Alijännite -taso 2	0,15 s	$U_n - 50 \%$
Ylitaajuus	0,2 s	51 Hz
Alitaajuus	0,5 s	48 Hz
Loss of Mains*	0,15 s	
*Loss of Mains -suojauksen eli saarekekäytönestosuojauksen tulee käyttää jakeluverkkoon sopivia havaitsemistekniikoita.		

Kun verrataan taulukon 7.1. arvoja luvussa 4. esitetyn taulukon 4.5.1. arvoihin, havaitaan että Suomessa mikrotuotantolaitoksilta vaaditut asettelut eivät merkittävästi poikkea muiden käsiteltyjen maiden vaatimuksista. Suomessa on määritelty kaksinkertaiset jänniterajat, jotka tarkoittavat, että laitos saa pysyä pidempään verkossa pienellä hetkellisellä yli- tai alijännitteellä. Kuitenkin merkittävä yli- tai alijännite irrottaa laitoksen aina verkosta.

Mikäli suojauslaitteisto ei pysty toteuttamaan kaksia yli- ja alijänniterajoja, tulee taulukon rajoista yhdistellä yhdet rajat. Tällöin ylijänniteraja olisi $U_n + 10 \%$ ja toiminta-aika 0,15 s. Alijänniteraja olisi $U_n - 15 \%$ toiminta-ajalla 0,15 s. Vaatimukset ovat siis tiukemmat, mikäli käytössä on vain yhdet jänniterajat.

Tuotantolaitoksen tulee aina irrota verkon vioissa annettujen rajojen puitteissa. Tuotantolaitos ei myöskään koskaan saa alkaa syöttää sähköä jännitteettömään jakeluverkkoon. Mikäli laitoksen omistaja haluaa käyttää laitosta oman kiinteistönsä sähkön syöttöön keskeytysten aikana, tulee laitoksessa olla kaksoiskytkentämahdollisuus. Tämä tarkoittaa sitä, että laitos ja kiinteistön sähköjärjestelmä tulee luotettavasti erottaa sähköverkosta, mikäli laitosta halutaan käyttää verkon ollessa jännitteettömänä. Tämä vaatii erillisen kytkimen ja lisälaitteiston.

Liittymän suojauksen tulee taata, että tehon syöttö verkkoon alkaa vasta, kun jännite ja taajuus ovat olleet suojausasetusten sallimissa rajoissa vähintään tietyn minimiajan, joka on vaihtojännite generaattoreille 3 minuuttia ja invertterillä liitetyille järjestelmille 20 sekuntia. Mikrogeneraattorin synkronointi verkon kanssa tulee olla täysin automatisoitua. [31]

Takaisin verkkoon tahdistuminen olisi hyvä suorittaa porrastetusti, erityisesti jos saman liittymäpisteen takana on paljon mikrotuotantolaitoksia. Porrastus olisi mahdollista hoitaa esimerkiksi siten, että verkkojännitteen ja taajuuden palaututtua sallittuihin rajoihin invertteri tahdistuu verkkoon 0-15 sekunnin satunnaisviiveellä. Tällöin tahdistumisaika vian palaututtua olisi 20-35 sekuntia.

7.3.2. Loss of Mains -suojaus

Loss of Mains (LoM) -suojaus, eli liittymän suojaus tapauksissa, joissa jakeluverkon jännite katoaa, voi olla haasteellista mikrotuotannolle. Mikrotuotantolaitoksen tulee aina irrota verkosta LoM-tilanteessa, eikä se saa milloinkaan jäädä yksin syöttämään saarekettä. On kuitenkin mahdollista, että mikäli saarekkeen kuormat ovat sattumalta hyvin lähellä yhden tai useamman mikrotuotantolaitoksen yhteenlaskettua tuotantoa, ei laitos pysty havaitsemaan LoM-tilannetta pelkillä jännite- ja taajuusreleillä, vaan jää syöttämään saarekettä.

Yleensä kuormat ja tuotanto vaihtelevat sen verran, ettei saarekkeen taajuus pysy annetuissa rajoissa kauaa, ja tilanne on lyhytaikainen. Lyhytaikainenkin saarekekäyttö voi kuitenkin olla ongelma, varsinkin jos aiheuttajana on maasulku. Tällöin maasulkupaikkaan voi syntyä vaarallisia kosketus- tai askeljännitteitä.

LoM-tilanne on haastava Suomen jakeluverkolle erityisesti pikajälleenkytkentäautomaatiikan takia. Jakeluverkon pikajälleenkytkentöjen kesto on yleensä vain 0,5 s. Jos tuotantolaitos jää syöttämään saarekettä pikajälleenkytkennän ajaksi, ei jälleenkytkentä toimi ja verkon vika-aika pitenee. LoM-suojauksen tulee irrottaa laitos riittävän nopeasti, jotta pikajälleenkytkentä toimisi halutusti. Toiminta-ajan on oltava yhtä nopea, kuin toiminta-aika on tilanteessa $U_n - 50 \%$. Toiminta-ajan on siis oltava 0,15 s.

Kun toiminta-aika on 0,15 s, on mahdollista, että pikajälleenkytkennälle jää aikaa vain 0,5 s - 0,15 s eli 0,35 s. Mikäli halutaan varmistua jälleenkytkentöjen halutusta toiminnasta, voidaan verkon pikajälleenkytkentöjä pidentää 0,15 sekunnilla sellaisissa verkon osissa, joissa on mikrotuotantoa.

Keskusteluissa mikrotuotannon liitännälaittevalmistajien kanssa [54] on käynyt ilmi, että vaatimus 0,15 sekunnissa toimivasta LoM-suojauksesta on kova. Aktiiviset LoM-suojausmenetelmät eivät pysty luotettavasti toimimaan tällaisella nopeudella. Aktiivisissa LoM-suojausmenetelmissä verkkoon syötetään pulsseja taajuussiirrettyä virtaa, jonka vastetta mitataan [55]. Kuten luvussa 4.3. kuitenkin tuli esiin, esimerkiksi Tanskassa tällaisten LoM-suojausmenetelmien käyttö on kiellettyä ilmenneiden ongelmien takia.

Kuten luvussa 4. on todettu, Tanskassa LoM-suojaus on hoidettu taajuuden vaihtelua tarkkailevalla ROCOF (Rate Of Change Of Frequency) –releellä. Rele havaitsee nopeat pienet taajuusvaihtelut ja irrottaa generaattorin verkosta, mikäli taajuuden vaihtelu on liian suurta. Tällainen suojaus parantaa LoM-suojauksia.

Liityntälaitevalmistajat [54] näkevät ROCOF-releen tällä hetkellä ainoana suojaustapana, joka luotettavasti toimii aina 0,15 sekunnissa. Keskusteluissa he ehdottivat Suomessa käytettäväksi ROCOF-relettä, jonka asettelu on 1 df/dt eli 1 Hz/s. Tämä tarkoittaa sitä, että jos taajuuden vaihtelu on yli 1 hertsiä sekunnissa, laite irtautuu aina. ROCOF-releiden on havaittu aiheuttavat laitosten turhia irtoamisia verkon taajuuden muutoksissa. Tämä ei kuitenkaan liene Suomen verkossa ongelma, sillä verkkotaajuutemme on hyvin stabiili.

Johtopäätöksenä tässä työssä ehdotetaan Suomeen mikrotuotantolaitosten LoM-suojaukseen käytettäväksi ROCOF-relettä asetteluilla: toiminta-aika; 0,15 s ja releasettelu; 1 df/dt eli 1 Hz/s. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös muuta suojausmetodia, mutta sen tulee olla yhtä nopea ja luotettava kuin ROCOF-rele eikä se saa aiheuttaa lisäongelmia verkkoon, kuten tuotannon tarpeettomia irtoamisia.

7.4. EMC- ja sähkön laatuvaatimukset laitteistolle

Standardin EN 50438 [31] mukaan mikrogeneraattorin tulee vastata yleisten EMC-standardien EN 61000-6-1 Electromagnetic compatibility (EMC) Generic standards Immunity for residential, commercial and light-industrial environments [56] ja EN 61000-6-3 Electromagnetic compatibility (EMC) Generic standards Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments [57] vaatimuksia.

Lisäksi teknisen raportin EN61000 osa 3-15 Electromagnetic compatibility (EMC) Limits - Assessment of low frequency electromagnetic immunity and emission requirements for dispersed generation systems in LV network [51] luonnos määrittelee erikseen erityisiä EMC-vaatimuksia invertterikäyttöisille pienjännitegeneraattorijärjestelmille. Raportti antaa rajat häiriön siedolle ja häiriön päästölle ja asettaa rajat matalataajuisille sähkömagneettisille tekijöille pienjänniteverkossa.

Jakeluverkossa siirrettävän sähkön on täytettävä sähkönlaatua koskevien standardien (EN 50160 Yleisen jakelujännitteen ominaisuudet) vaatimukset [58]. Verkon jäykkyys vaikuttaa liityntämahdollisuuksiin. Mitä kauempana ollaan sähköasemalta, sitä heikompi on verkko ja sitä enemmän pienvoimala vaikuttaa jakeluverkon sähkönlaatuun.

Vaatimukset koskevat jännitteen laatua liittämiskohdassa, jolla tarkoitetaan kohtaa, jossa sähkön käyttäjän verkko liittyy yleiseen jakeluverkkoon. Liittämiskohta on määritelty liittymissopimuksessa.

Seuraavaksi käsitellään yksitellen erilaisia jännitteen ja sitä kautta sähkön laadun häiriöitä. Häiriöitä käsitellään mikrotuotantolaitoksen näkökulmasta. Tulevissa aliluvuissa käydään läpi myös mikrotuotantoa koskevat sähkönlaatustandardit.

Aliluvut 7.4.1.-7.4.4. käsittelevät mikrotuotantolaitoksen mahdollisesti verkkoon aiheuttamia häiriöitä. Aliluvut 7.4.5. ja 7.4.6. käsittelevät mikrotuotantolaitoksen suojausta verkossa tapahtuvia häiriöitä vastaan.

7.4.1. Nopeat jännitemuutokset ja välkyntä

Nopealla jännitteenmuutoksella tarkoitetaan tehollisarvon nopeaa muutosta tasolta toiselle välillä $U_n \pm 10\%$ (U_n on nimellisjännite). Tyypillisesti jännitteen muutoksen suuruus suuntaan tai toiseen ei ylitä 5% nimellisjännitteestä. Kun jännite laskee tason $U_n - 10\%$ nimellisjännitteestä alapuolelle, katsotaan, että kyseessä on jännitekuoppa. Nopeat jännitteen muutokset johtuvat yleensä asiakkaan laitteiden tai järjestelmän kytkennöistä. [59]

Usea peräkkäinen nopea jännitetason muutos aiheuttaa lamppujen luminanssin muutoksia, mikä voi aiheuttaa välkynnäksi kutsutun näköaistimuksen. Tyypillisesti välkyntää aiheuttavat yksivaiheiset hitsauslaitteet, valokaariuunit ja kompressorit, eli laitteet, joilla on huomattavan epätasainen (repivä) kuormitusvirta. Myös pientuuliturbiinien on havaittu aiheuttavan välkyntää ja jännitevaihteluja verkkoon [51].

Välkynnän ärsyttävyyttä tarkastellaan lyhytaikaisella häiritsevyysindeksillä (P_{st}) ja tästä johdetulla pitkäaikaisella häiritsevyysindeksillä (P_{lt}), jotka saadaan UIE-IEC välkynnän mittaamenetelmällä. [59]

Lyhytaikainen häiritsevyysindeksi (P_{st}) mitataan kymmenen minuutin aikaväliltä ja pitkäaikainen häiritsevyysindeksi (P_{lt}) lasketaan kahdestatoista kahden tunnin mittausaikaväliltä saadusta P_{st} -arvosta seuraavan yhtälön [59] mukaan:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad (1)$$

Standardi EN 50160 [58] ei anna tarkkoja rajoja yksittäisille nopeille jännitteen muutoksille. Standardissa sanotaan, ettei verkkoon kytkeytyminen yleensä saisi aiheuttaa yli 5% jännitteenmuutosta verkossa. Standardissa jakelujännitteen välkynnälle on esitetty, että viikon mittausajalla pien- ja keskijänniteverkoissa 95% P_{lt} -arvoista tulisi olla alle 1. [59]

7.4.2. Epäsymmetria

Epäsymmetriassa vaihejännitteiden tehollisarvot tai niiden väliset kulmat eivät ole yhtä suuria. Pienjänniteverkossa epäsymmetriaa esiintyy jossain määrin aina johtuen siitä, että vaiheet kuormittuvat epätasaisesti yksivaiheisten sähkölaitteiden takia. Epäsymmetrian takana voi olla myös esimerkiksi maasulku tai yhden vaiheen sulakkeen palaminen. [59]

Yksivaiheisesti kytketyt mikrogeneraattorit aiheuttavat epätasapainoa verkkoon. Tästä syystä onkin tärkeää, että jakeluverkonhaltija saa määrätä mihin vaiheeseen yksittäinen mikrogeneraattori liitetään.

Epäsymmetria määritellään yhtälöllä [59]:

$$u_u = \frac{\text{jännitteenvastakomponentti}}{\text{jännitteenmyötäkomponentti}} * 100\% \quad (2)$$

Standardin EN 60160 mukaan viikon tarkastelujaksolla normaaleissa käyttöolosuhteissa 95 % jakelujännitteen vastakomponentin 10 minuutin tehollisarvon keskiarvoista tulee olla välillä 0...2 % myötäkomponentista. [59]

7.4.3. Harmoniset yliaaltojännitteet

Harmoninen yliaaltojännite on sinimuotoinen jännite, jonka taajuus on perusaallon taajuus kokonaisluvulla kerrottuna. Yksittäistä harmonista yliaaltojännitettä kuvataan vertaamalla sen suhteellista amplitudia perustaajuiseen jännitteeseen. Yksittäisiä harmonisia yliaaltojännitteitä (u_h) voidaan yhdessä kuvata harmonisella kokonaissäröllä (THD), joka lasketaan seuraavasti [59]:

$$THD = \sqrt{\sum_{k=2}^{40} (u_k)^2} \quad (3)$$

Harmoninen kokonaissärö THD saa liittymiskohdassa olla maksimissaan 8 %. Kokonaissärön määrä ei saa ylittyä, vaikka liittymään liitettäisiin mikrotuotantoa.

Yliaaltojännitteitä aiheuttavat sähkönkäyttäjien epälineaariset kuormat kuten erilaiset suuntaajakäytöt, tehollähteet ja purkauslamput. Alle 16 A kulutuslaitteita varten harmonisille yliaaltovirroille on asetettu rajat IEC standardissa 61000-3-2 Limits for harmonics (luokka A) [60]. Näitä samoja rajoja voidaan soveltaa alle 16 A tuotantolaitoksille. Rajat on esitelty alla olevassa taulukossa 7.3.3.

Taulukko 7.3.3. Harmonisten yliaaltovirtojen rajat mikrogeneraattorilaitokselle [60]

Yliaallon järjestysluku (n)	Suurin sallittu yliaaltovirta (A)
Parittomat	
3	2,3
5	1,14
7	0,77
9	0,4
11	0,33
13	0,21
$15 \leq n \leq 39$	$0,15 \cdot (15/n)$
Parilliset	
2	1,08
4	0,43
6	0,3
$8 \leq n \leq 40$	$0,23 \cdot (8/n)$

7.4.4. Epäharmoniset yliaaltojännitteet

Epäharmonisen yliaaltojännitteen taajuus on harmonisten yliaaltojen välissä. Se ei siis ole kokonaisluvulla kerrottu perusaallon taajuus. Epäharmoniset yliaallot voivat esiintyä yksittäin tai laajakaistaisena spektrinä. Nykyisellä tietotasolla epäharmonisille ylijännitteille ei ole mahdollista asettaa vaatimustasoa. [59]

7.4.5. Jännitekuopat ja lyhyet keskeytykset

Jännitekuopalla tarkoitetaan jännitteen äkillistä alenemista välille 1 – 90 % nimellisjännitteestä, jonka jälkeen jännite palautuu lyhyen ajan kuluttua normaalille tasolle. Jännitekuopan kesto voi olla 0,01 sekunnista jopa 3 minuuttiin. Jännitekuopat johtuvat yleensä verkossa tai asiakkaan asennuksissa tapahtuvista vioista, mutta myös suurempien kuormien kytkennät voivat aiheuttaa kuopan. Jännitekuoppien vuosittainen esiintymistiheys vaihtelee suuresti verkon rakenteen ja kuormituksen mukaan. [59]

Standardi EN 50160 antaa jännitekuopille ainoastaan indikaatiiviset arvot. Standardin mukaan jännitekuoppien odotettavissa oleva määrä vuoden aikana voi olla muutamista kymmenistä tuhanteen. [59]

Mikrotuotantolaitoksen irtautumiselle alijännitteissä on annettu raja-arvot taulukossa 7.1. Standardi IEC 61000-4-11 Voltage variations [61] (alle 16A) ottaa kantaa mikrotuotantolaitoksen jännitekuoppasietoisuuteen. Yksiköiden jännitekuoppasietoisuus ja lyhyiden katkojen kesto tulee tarkastella suojausrajojen puitteissa. Tästä syystä ei suositella spesifejä rajoja vaan jännitesietokäyrää. [51]

7.4.6. Taajuusvaihtelut

Syötetyn tehon vaihtelu voi aiheuttaa vaihteluita verkon jännitteeseen tai taajuuteen. Taajuuden ja jännitteen vaihteluihin liitetyssä laitteessa (50 tai 60 Hz, enintään 16A) on voimassa standardi IEC 61000-4-28.

Laitteessa täytyy olla saarekekäytön estosuojaus, joka sammuttaa saarekekäytön taajuuden epästabiiliudesta. Tällainen estosuojaus tulee toteuttaa aiemmin mainituilla ROCOF-releillä tai vastaavalla metodilla, joka on yhtä luotettava kuin ROCOF.

8 Verkon suojaus

Sähköverkko on suunniteltu siten, että tuotanto tapahtuu suurissa keskitetyissä laitoksissa, joista sähkö siirretään kulutuskohteisiin, ja siirto tapahtuu korkeammalta jänniteportaalta matalammalle. Hajautetun tuotannon lisääntyminen haastaa verkon toiminnan, sillä sähköä tuotetaan kaikilla jännitetasoilla, ja siirtoa voi tapahtua myös matalammalta jännitetasolta korkeammalle.

Myös oikosulkuvirrat ovat perinteisesti kulkeneet korkeammalta jännitetasolta matalammalle. Hajautettu tuotanto voi muuttaa oikosulkuvirtojen suuruuksia ja jopa niiden suuntaa [55]. Oikosulkuvirtojen uudenlainen käyttäytyminen voi huonontaa verkon suojauksen toimivuutta. Onkin selvitettävä, miten suojaus toimii verkon vikatilanteissa, kun verkkoon on liittynyt hajautettua tuotantoa.

Perinteisimpiä keskijänniteverkon suojalaitteita ovat jännite- ja taajuusreleet. Niitä käytetään liityntäpisteen epänormaalien jännitteiden ja taajuuksien havainnointiin. Niiden herkkyys ja toiminta-aika voidaan asettaa vapaasti. Pienjänniteverkossa suojaukseen käytetään sulakkeita, jotka toimivat pelkkänä ylivirtasuojana. Ylivirtasuojia toimii usein suojana mikrogeneraattorin sisäisiä vikoja ja liityntäpisteen lähellä tapahtuvia oikosulkuja vastaan [55].

Tuotantolaitoksen yli- ja alijännitesuojaus, yli- ja alitaajuussuojaus sekä ylivirtasuojauksen muodostavat laitoksen suojauksen perustan. Tuotantolaitokset pitää lisäksi varustaa Loss of Mains -suojalla, joka tarvitaan suunnittelemattoman saarekekäytön estämiseksi. Tämä on ennen kaikkea turvallisuuskysymys. Saarekekäytönestosuojausta on käsitelty tarkemmin luvussa 7.

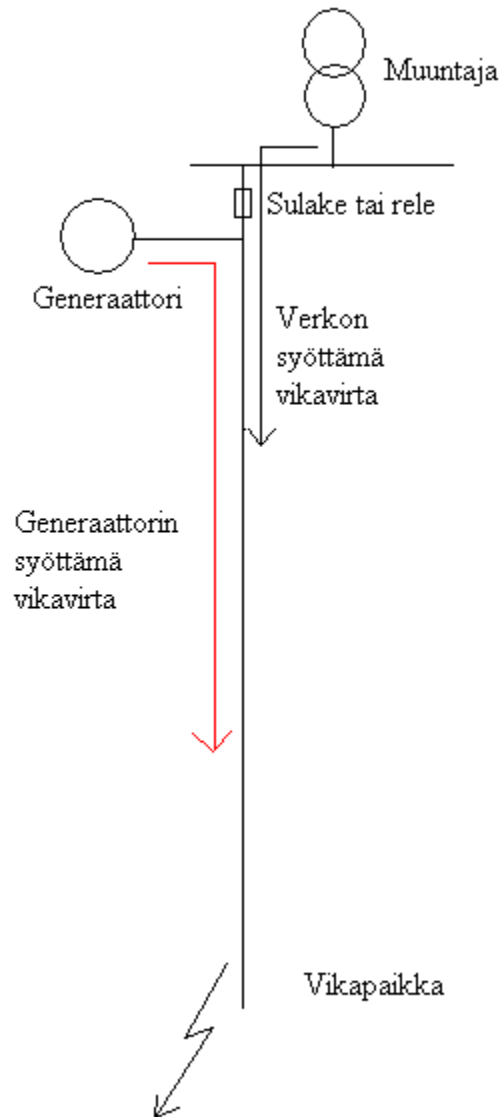
8.1. Oikosulkuvirtojen vaikutus

Kun mikrotuotantolaitos reagoi oikosulkuihin, kokonaisuikosulkuvirrat vikapaikan lähellä nousevat. Ongelmallisia ovat korkeat oikosulkuvirrat hajautetusti sijoitetun tuotantolaitoksen läheisyydessä. Nämä virrat voivat johtaa termisten rajojen ylittymiseen verkon komponenteissa. Hajautettu tuotanto voi myös hidastaa syöttävän verkon suojauksen toimintaa. Viivästynyt suojaus yhdessä korkeiden oikosulkuvirtojen kanssa voi aiheuttaa ongelmia. [55]

Erityisesti kaapeliliitokset, muuntajat ja kytkinlaitteet ovat ongelmallisia lisääntyneiden vikavirtojen tilanteessa. Ongelmia voidaan hallita vaihtamalla komponentteja parempiin tai pienentämällä oikosulkuvirtoja jakamalla verkko pienempiin osiin. Tämä ei aina ole mahdollista eikä taloudellisesti järkevää. Lisäksi sähkön laatu voi kärsiä. Myös muuntajan arvojen asettelulla voidaan vähentää oikosulkuvirtoja. Sofistikoituneempi ratkaisu on käyttää vikavirtarajoittimia (Fault Current Limiter, FCL). FCL voi toimia kolmella tavalla: se voi katkaista vikavirran, madaltaa vikavirran turvalliselle tasolle tai toimia yhdistelmänä edellisistä. [55]

8.2 Suojauksen sokaistuminen

Suojauksen herkkyyso ongelmia voi esiintyä, kun jakeluverkkoon liitetään mikrotuotantoa, eikä syötön rele- tai sulakeasetteluja tarkasteta. Ongelmana on, ettei vikaa havaita yhtä nopeasti kuin alun perin oli suunniteltu. Tämä voi johtaa vakaviin turvallisuusongelmiin. Ongelmaa kutsutaan myös suojauksen sokaistumiseksi [55]. Ilmiötä on havainnollistettu kuvassa 8.2.



Kuva 8.2. Suojauksen sokaistuminen. Mikrotuotantolaitos voi estää kuvan relettä tai sulaketta toimimasta oikein. Ongelman aiheuttaa punaisella merkitty mikrogeneraattorin syöttämä oikosulkuvirta.

Kun vika tapahtuu sellaisessa paikassa, jossa vikapaikan ja syötön väliin jää mikrotuotantolaitos tai useita laitoksia, suojaus voi sokaistua. Kuvassa 8.2. on piirretty tilanne, jossa syöttö syöttää oikosulkuvirtaa vikapaikkaan (2-vaiheinen oikosulku). Vian havaitseva rele tai sulake on piirretty kuvaan. Kuitenkin myös kuvassa oleva mikrotuotantolaitos syöttää vikavirtaa, jolloin syötön syöttämä vikavirta pienenee. Mikäli mikrotuotantoa on riittävästi, voi syötön syöttämä oikosulkuvirta laskea sellaiselle tasolle, ettei rele tai sulake enää reagoi. Tällöin alkuperäinen releasettelu ei toimi vikatilanteissa. Kriittistä onkin tarkastaa relesuojauksen asettelut, kun verkkoon liittyy mikrotuotantoa.

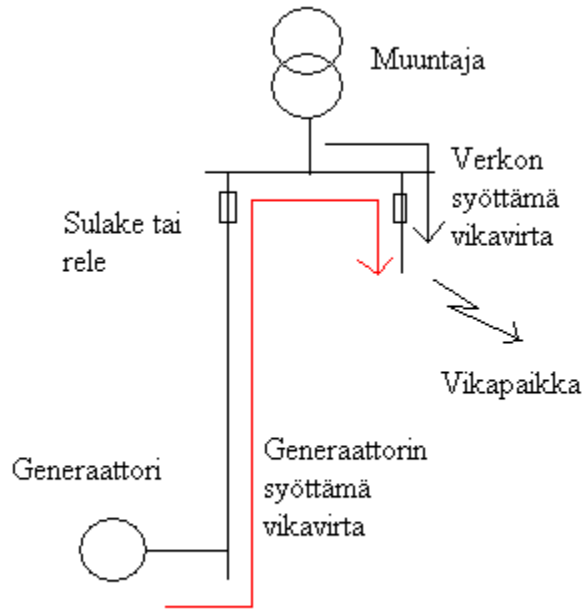
Ongelma on suurempi keskijänniteverkoilla, joiden releasettelu on tehty melko tarkaksi. Pienjänniteverkon sulakesuojauksessa on enemmän marginaalia, joten tilanne on pienjänniteverkossa epätodennäköisempi, mutta kuitenkin mahdollinen.

Pääsääntöisesti yksittäinen laitos ei vielä aiheuta suojauksen sokaistumista. Ongelma tulee esiin, kun hajautetusti sijoitettua mikrotuotantoa on merkittävästi kulutukseen nähden. Ratkaiseva kysymys onkin, milloin mikrotuotantoa on siinä määrin, että suojauksen sokaistuminen on mahdollista, ja miten tällaisessa tilanteessa tulee toimia.

Luvussa 8.4. on laskentaesimerkeillä selvennetty, missä määrin verkossa voi olla hajautettua tuotantoa ennen kuin verkon suojaus häiriintyy ja suojauksen sokaistuminen tulee mahdolliseksi. Luvussa 8.4. on käsitelty muutamaa kuvitteellista esimerkkitapausta. Esimerkkiverkkoina on käytetty olemassa olevia muuntopiirejä, joille on laskettu suojauksen sokaistumistapauksia, kun verkkoon liittyy hajautettua tuotantoa.

8.3. Mikrotuotantolaitoksen aiheuttama virhelaukaisu

Toinen releasettelun kannalta ongelmallinen tilanne voi syntyä kuvan 8.3. mukaisessa tapauksessa, jossa mikrotuotantolaitos aiheuttaa tietyn verkon osan turhan irrottamisen syötöstä.



Kuva 8.3. Virhelaukaisu. Mikrotuotantolaitos voi aiheuttaa vasemman puoleisen releen tai sulakkeen turhan toiminnan. Ongelmana on punaisella merkitty mikrogeneraattoriin syöttämä vikavirta.

Kun oikosulkuvika syntyy sellaisen muuntamon syötössä, jonka johonkin toiseen syöttöön on liittynyt hajautettua tuotantoa, voi relesuojauksen toiminta häiriintyä. Kuvan 8.3. mukaisessa viassa syöttö syöttää vikavirtaa vikapaikkaan. Myös mikrotuotantolaitos osallistuu vikavirran syöttämiseen. Tällöin myös vasemman puoleisen sulakkeen tai releen läpi kulkee vikavirtaa. Mikäli vikavirran suuruus ylittää releen asetteluvaron tai sulakkeen kapasiteetin, eikä rele tai sulake tunnista vikavirran suuntaa, se toimii ja katkaisee syötön mikrotuotantolaitoksen puoleisesta verkon osasta. Suuntaylivirtarele on ratkaisu ongelmaan. Toisaalta komponenttien vaihto on kallista ja kustannusten kohdentaminen vaikeaa. Releen vaihdosta voi kuitenkin olla hyötyä myös muulle verkolle. [55]

Suuntarelemahdollisuus kannattaa huomioida, kun rakennetaan uutta verkkoa tai uudistetaan vanhaa verkkoa korvaamalla komponentteja. Ylivirtareleen ja suuntaylivirtareleen hintaero on verkon rakennuskustannuksiin nähden mitätön. Asentamalla jo valmiiksi suuntarele voidaan välttyä ongelmilta tulevaisuudessa.

Luvussa 8.4. on laskentaesimerkeillä selvennetty, missä määrin verkossa voi olla hajautettua tuotantoa ennen kuin verkon suojaus häiriintyy ja virhelaukaisu tulee mahdolliseksi. Luvussa 8.4. on käsitelty muutamaa kuvitteellista esimerkkitapausta. Esimerkkiverkkoina on käytetty olemassa olevia muuntopiirejä, joille on laskettu virhelaukaisu tapauksia, kun verkkoon liittyy hajautettua tuotantoa.

8.4. Mikrotuotannon vaikutus esimerkkiverkkojen suojaukseen

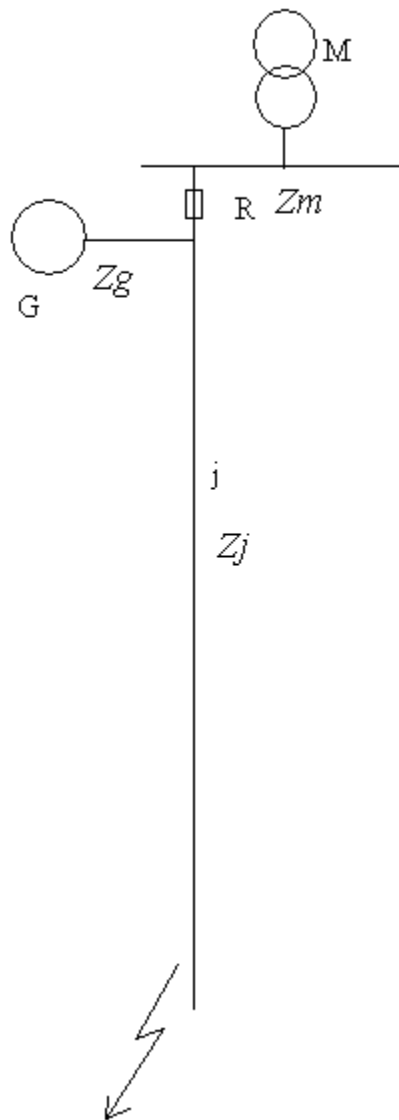
Tässä aliluvussa on perehdytty pienjänniteverkon suojauskysymyksiin esimerkkitapausten avulla. Esimerkit laskettiin eri vahvuisille pienjänniteverkoille. Laskentaesimerkkejä varten pyydettiin olemassa olevien muuntopiirien ja muuntajien tietoja Kymenlaakson Sähköverkko Oy:ltä. Tarkasteltavat muuntopiirit ovat Tonttuvatien muuntopiiri Pyhtäällä, Suuriniemen muuntopiiri Virolahdella sekä Urheilutien muuntopiiri Elimäellä. Tonttuvatien ja Suuriniemen alueet ovat haja-asutusalueita, joilla on lähinnä pieniä omakotitaloja ja mökkejä. Tällainen alue voisi olla otollista uuden mikrotuotannon rakentamiselle. Urheilutien muuntopiiriin liittyy suurempia omakotitaloja ja myös muita rakennuksia.

Liitteistä C, D ja E löytyvät muuntopiirien tiedot. Liite C sisältää Tonttuvatien muuntopiirin muuntopiirikartan, muuntajan tiedot sekä tehonjakolaskelmat elokuulta 2009. Liite D sisältää vastaavat dokumentit Suuriniemen muuntopiiristä. Liite E sisältää Urheilutien tiedot. Lisäksi liitteestä F löytyvät laskennassa käytettyjen kaapeleiden johtavuustiedot.

Seuraavissa aliluvuissa on aluksi esitelty laskenta, jolla selvitetään millaiset määrät mikrotuotantoa vaikuttavat verkon suojaukseen. Laskentateorian jälkeen lasketaan esimerkkitapauksia eli caseja annettujen verkkotietojen avulla. Laskennassa on käytetty laskentaohjelmaa Mathematica.

8.4.1. Case suojauksen sokaistuminen verkon oikosulussa

Suojauksen sokaistumistapauksessa tilanne on kuvan 8.4.1. kaltainen:



Kuva 8.4.1. Suojauksen sokaistuminen verkon oikosulussa

Tuotantolaitoksen oikosulkuimpedanssi voidaan laskea seuraavasti:

$$Z_g = \frac{U_N^2}{S_g}, \quad (4)$$

jossa U_N on generaattorin nimellisjännite ja S_g on generaattorin näennäisteho. Generaattorin syöttämää oikosulkutehoa pienentää vielä generaattorin liityntäjohton impedanssi, mutta näissä laskelmissa se jätetään huomioimatta.

Yhtälössä 4 on oletettu, että tuotantolaitos syöttää nimellistehonsa verran oikosulkutehoa. Kyky syöttää oikosulkutehon riippuu tuotantotavasta. Epätahtigeneraattori kykenee syöttämään nimellistehoonsa nähden kuusinkertaista oikosulkutehoa. Invertteri rajoittaa oikosulkuvirtaa. Invertterillä verkkoon liitetty laitos kykenee syöttämään arviolta

enintään puolitoistakertaista oikosulkutehoa nimellistehoonsa nähden. Eri tuotantotapojen erilainen käyttäytyminen tulee huomioida laskennassa.

Verkon kokonaisuikosulkuimpedanssi saadaan osaimpedanssien rinnan- ja sarjaankytkennöistä seuraavasti:

$$Z_{tot} = Z_j + \frac{Z_g \cdot Z_m}{Z_g + Z_m}, \quad (5)$$

jossa Z_g on mikrotuotantolaitoksen oikosulkuimpedanssi, Z_m on muuntajan oikosulkuimpedanssi ja Z_j on johdon oikosulkuimpedanssi.

Kokonaisuikosulkuvirta voidaan laskea yhtälöstä:

$$I_{tot} = \frac{U_N / \sqrt{3}}{Z_{tot}}, \quad (6)$$

jossa U_N on verkon nimellisjännite ja Z_{tot} on edellä esitetty kokonaisuikosulkuimpedanssi.

Releen tai sulakkeen läpi kulkeva virta I_R voidaan laskea virran jaolla yhtälöstä:

$$I_R = I_{tot} \frac{Z_g}{Z_g + Z_m}, \quad (7)$$

johon edelleen sijoitetaan Z_m ja Z_g sekä I_{tot} .

Tästä lausekkeesta ratkaistaan S_g :n arvo rajapisteessä eli pahimmassa mahdollisessa tilanteessa maksimimäärä S_g :tä, jolla suojaus edelleen toimii oikein.

8.4.1.1. Suojauksen sokaistuminen case Tonttuvuori

Tonttuvuoren muuntopiirissä muuntamolta lähtee kaksi haaraa, joista ensimmäisen pääsulakkeet ovat 80 ampeeria ja toisen 63 ampeeria. Pisin mahdollinen vikapaikan etäisyys muuntamosta on ensimmäisessä haarassa 659 metrin etäisyydellä muuntamosta. Kaapelit ovat vaihtelevasti tyyppejä AMKA 3x70+95 ja AMKA 3x25+35. Kaapeleiden oikosulkuimpedanssit saadaan Draka Oy:n datalehdessä AMKA-kaapeleille (liite F).

Kaapelit:

Lasketaan kaapelien oikosulkuimpedanssi matkalla vikapaikasta sulakkeelle:

AMKA 3x70+95 kaapelin resistanssi on 0,443 Ω/km ja induktanssi on 0,34 mH/km.
AMKA 3x25+35 kaapelin resistanssi on 1,2 Ω/km ja induktanssi on 0,31 mH/km.
Resistanssit on ilmoitettu lämpötilassa 20°C.

Ensimmäisessä haarassa etäisyys vikapaikkaan on 659 metriä. Tästä pituudesta 50 metriä on AMKA 3x25+35 kaapelia ja loput 609 metriä AMKA 3x70+95 kaapelia. Lasketaan koko matkan resistanssit ja reaktanssit:

$$R_j = (0,05\text{km} \cdot 1,2\Omega / \text{km}) + (0,609\text{km} \cdot 0,443\Omega / \text{km}) = 0,330\Omega$$

$$X_j = (0,05\text{km} \cdot 0,31\text{mH} / \text{km} \cdot 2\pi 50\text{Hz}) + (0,609\text{km} \cdot 0,34\text{mH} / \text{km} \cdot 2\pi 50\text{Hz}) = 0,0699\Omega$$

Muuntaja:

Muuntajan tiedot:

$$S_N = 30\text{ kVA}$$

$$U_1 / U_2 = 20 / 0,4\text{ kV}$$

$$r_k = 2,6\%$$

$$z_k = 4\%$$

Lasketaan muuntajan oikosulkuimpedanssi alajännitepuolella:

$$U_N = 20\text{ kV} \frac{0,4\text{ kV}}{20\text{ kV}} = 0,4\text{ kV}$$

$$R_m = r_k \frac{U_N^2}{S_N} = 0,026 \frac{(0,4\text{ kV})^2}{30\text{ kVA}} = 0,139\Omega$$

$$X_m = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = \sqrt{0,04^2 - 0,026^2} \cdot \frac{(0,4\text{ kV})^2}{30\text{ kVA}} = 0,16\Omega$$

$$Z_m = R_m + jX_m = (0,139 + j0,16)\Omega$$

Näistä arvoista voidaan laskea mikä on mikrotuotannon määrä, joka aiheuttaa sulakkeen väärintoimimisen.

$$\begin{aligned} I_R = I_{tot} \frac{Z_g}{Z_g + Z_m} &= \frac{U_N / \sqrt{3}}{Z_j + \frac{Z_g \cdot Z_m}{Z_g + Z_m}} \frac{Z_g}{Z_g + Z_m} \\ &= \frac{400\text{ V} / \sqrt{3}}{(0,33 + j0,0699)\Omega + \frac{Z_g (0,139 + j0,16)\Omega}{Z_g + (0,139 + j0,16)\Omega}} \frac{Z_g}{Z_g + (0,139 + j0,16)\Omega} \end{aligned}$$

Kun lauseke syötetään laskentaohjelmaan, saadaan Z_g :n arvoksi, kun I_r on 80 ampeeria, $0,0269\Omega$. Tämä tarkoittaa, että suurin mahdollinen määrä mikrotuotantoa, joka ei vielä häiritse suojausta on näennäisteholtaan $S_g = 5,95\text{ MVA}$.

Mikäli tuotanto liittyy verkkoon invertterin välityksellä, voidaan olettaa, ettei laitos syötä yli puolitoista kertaa nimellistehonsa verran oikosulkuvirtaa. Tässä tapauksessa ongelmia aiheuttavan laitoksen koko olisi siis yli 4 MVA. Mikäli tuotanto on epätahtigeneraattorituotantoa, on vastaava koko noin 1 MVA.

8.4.1.2. Suojauksen sokaistuminen case Suuriniemi

Suuriniemen muuntopiirissä muuntamolta lähtee kaksi haaraa, joista molempien pääsulakkeet ovat 63 ampeeria. Pisin mahdollinen vikapaikan etäisyys muuntamosta on ensimmäisessä haarassa etäisyydellä 1114 metriä. Kaapelit ovat tyyppiä AMKA 3x70+95. Kaapeleiden oikosulkuimpedanssit saadaan Drakan datalehdessä AMKA-kaapeleille.

Kaapelit:

Lasketaan kaapelien oikosulkuimpedanssi matkalla vikapaikasta sulakkeelle:

AMKA 3x70+95 kaapelin resistanssi on $0,443 \Omega/\text{km}$ ja induktanssi on $0,34 \text{ mH}/\text{km}$. Resistanssit on ilmoitettu lämpötilassa 20°C .

Etäisyys vikapaikkaan on 1114 metriä. Tämä pituus on kokonaan AMKA 3x70+95 kaapelia. Lasketaan koko matkan resistanssit ja reaktanssit:

$$R_j = (1,114 \text{ km} \cdot 0,443 \Omega / \text{km}) = 0,493 \Omega$$

$$X_j = (1,114 \text{ km} \cdot 0,34 \Omega / \text{km} \cdot 2\pi 50 \text{ Hz}) = 0,118 \Omega$$

Muuntaja:

Muuntajan tiedot:

$$S_N = 30 \text{ kVA}$$

$$U_1 / U_2 = 20 / 0,4 \text{ kV}$$

$$r_k = 3 \%$$

$$z_k = 4,3 \%$$

Lasketaan muuntajan oikosulkuimpedanssi alajännitepuolella:

$$U_N = 20 \text{ kV} \frac{0,4 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} = 0,4 \text{ kV}$$

$$R_m = r_k \frac{U_N^2}{S_N} = 0,03 \frac{(0,4 \text{ kV})^2}{30 \text{ kVA}} = 0,16 \Omega$$

$$X_m = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = \sqrt{0,043^2 - 0,03^2} \cdot \frac{(0,4 \text{ kV})^2}{30 \text{ kV}} = 0,1653 \Omega$$

$$Z_m = R_m + jX_m = (0,16 + j0,1653)\Omega$$

Näistä arvoista voidaan laskea mikä on mikrotuotannon määrä, joka aiheuttaa sulakkeen väärintoimimisen.

$$I_R = I_{tot} \frac{Z_g}{Z_g + Z_m} = \frac{U_N / \sqrt{3}}{Z_j + \frac{Z_g \cdot Z_m}{Z_g + Z_m}} \frac{Z_g}{Z_g + Z_m}$$

$$= \frac{400V / \sqrt{3}}{(0,493 + j0,118)\Omega + \frac{Z_g (0,16 + j0,1653)\Omega}{Z_g + (0,16 + j0,1653)\Omega}} \frac{Z_g}{Z_g + (0,16 + j0,1653)\Omega}$$

Kun lauseke syötetään laskentaohjelmaan, saadaan Z_g :n arvoksi, kun I_r on 63 ampeeria, 0,000561Ω. Tämä tarkoittaa, että suurin mahdollinen määrä mikrotuotantoa, joka ei vielä häiritse suojausta on näennäisteholtaan $S_g=4,16MVA$.

Mikäli tuotanto liittyy verkkoon invertterin välityksellä, voidaan olettaa, ettei laitos syötä yli puolitoista kertaa nimellistehonsa verran oikosulkuvirtaa. Tässä tapauksessa ongelmia aiheuttavan laitoksen koko olisi siis yli 2,8 MVA. Mikäli tuotanto on epätahtigeneraattorituotantoa, on vastaava koko noin 700 kVA.

8.4.1.3. Suojauksen sokaistuminen case Urheilutie

Urheilutien muuntopiirissä muuntamolta lähtee useita haaroja. Esimerkkihaaraksi on valittu haara, jonka suojaava sulake muuntajan päässä on 200 ampeeria. Pisin mahdollinen vikapaikan etäisyys muuntamosta on kyseisessä haarassa etäisyydellä 282 metriä. Kaapelit ovat tyyppiä AXMK150. Kaapeleiden oikosulkuimpedanssit saadaan Draka Oy:n datalehdessä AXMK-kaapeleille.

Kaapelit:

Lasketaan kaapelien oikosulkuimpedanssi matkalla vikapaikasta sulakkeelle:

AXMK150 kaapelin resistanssi on 0,206 Ω/km, induktanssi on 0,26mH/km ja kapasitanssi 0,28μF/km. Resistanssi on ilmoitettu lämpötilassa 20°C.

Etäisyys vikapaikkaan on 282 metriä. Tämä pituus on kokonaan AXMK150 kaapelia. Lasketaan koko matkan resistanssit ja reaktanssit:

$$R_j = (0,282km \cdot 0,206\Omega / km) = 0,0581\Omega$$

$$X_j = \left(0,282km \cdot \left(0,26mH / km \cdot 2\pi 50Hz + \frac{1}{0,28\mu F / km \cdot 2\pi 50Hz} \right) \right) = 3204,6\Omega$$

Muuntaja:

Muuntajan tiedot:

$$S_N = 500 \text{ kVA}$$

$$U_1 / U_2 = 20 / 0,4 \text{ kV}$$

$$r_k = 1 \%$$

$$z_k = 4,5 \%$$

Lasketaan muuntajan oikosulkuimpedanssi alajännitepuolella, eli

$$U_N = 20 \text{ kV} \frac{0,4 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} = 0,4 \text{ kV}$$

$$R_m = r_k \frac{U_N^2}{S_N} = 0,01 \frac{(0,4 \text{ kV})^2}{500 \text{ kVA}} = 0,0032 \Omega$$

$$X_m = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = \sqrt{0,045^2 - 0,01^2} \cdot \frac{(0,4 \text{ kV})^2}{500 \text{ kVA}} = 0,014 \Omega$$

$$Z_m = R_m + jX_m = (0,0032 + j0,014) \Omega$$

Näistä arvoista voidaan laskea mikä on mikrotuotannon määrä, joka aiheuttaa sulakkeen väärintoimimisen.

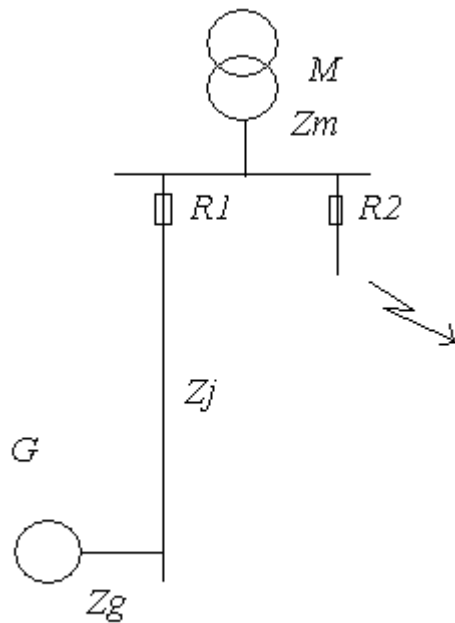
$$\begin{aligned} I_R = I_{tot} \frac{Z_g}{Z_g + Z_m} &= \frac{U_N / \sqrt{3}}{Z_j + \frac{Z_g \cdot Z_m}{Z_g + Z_m}} \frac{Z_g}{Z_g + Z_m} \\ &= \frac{400 \text{ V} / \sqrt{3}}{(0,0581 + j3204,6) \Omega + \frac{Z_g (0,0032 + j0,014) \Omega}{Z_g + (0,0032 + j0,014) \Omega}} \frac{Z_g}{Z_g + (0,0032 + j0,014) \Omega} \end{aligned}$$

Kun lauseke syötetään laskentaohjelmaan, saadaan Z_g :n arvoksi, kun I_R on 200 ampeeria, $0,0125 \Omega$. Tämä tarkoittaa, että suurin mahdollinen määrä mikrotuotantoa, joka ei vielä häiritse suojausta on näennäisteholtaan $S_g = 12,8 \text{ MVA}$.

Mikäli tuotanto liittyy verkkoon invertterin välityksellä, voidaan olettaa, ettei laitos syötä yli puolitoista kertaa nimellistehonsa verran oikosulkuvirtaa. Tässä tapauksessa ongelmia aiheuttavan laitoksen koko olisi siis yli 8,5 MVA. Mikäli tuotanto on epätahtigeneraattorituotantoa, on vastaava koko noin 2 MVA.

8.4.2. Case virhelaukaisu verkon oikosulussa

Toinen tilanne on muuntamon toisen lähdön virheellinen laukeaminen mikrotuotannon takia. Tilanne näyttää tältä:



Tässä tilanteessa pahin mahdollinen tilanne on kun mikrotuotanto on mahdollisimman lähellä relettä tai sulaketta 1. Ongelma voi siis syntyä mikäli generaattori syöttää releen tai sulakkeen yksi läpi kiskolle niin paljon oikosulkuvirtaa että rele tai sulake 1 laukeaa. Generaattorille vika näyttää olevan muuntajan kiskossa. Oikosulkuimpedanssi on generaattorin ja johdon oikosulkuimpedanssien summa, $Z_g + Z_j$. Pahimmassa tapauksessa mikrotuotanto on mahdollisimman lähellä muuntamoja ja johtojen impedanssin voidaan olettaa olevan nolla.

Generaattorin oikosulkuimpedanssi saadaan yhtälöstä 4:

$$Z_g = \frac{U_N^2}{S_g} \text{ jossa } S_g \text{ on generaattoreiden yhteenlaskettu näennäisteho.}$$

Releen tai sulakkeen yksi havaitsema virta on suuruudeltaan $I_{R1} = \frac{U_N / \sqrt{3}}{Z_g + Z_j}$ eli

pahimmassa tapauksessa $I_{R1} = \frac{U_N / \sqrt{3}}{Z_g}$. Kun tähän sijoitetaan Z_g , saadaan lauseke, josta

voidaan ratkaista suurin mahdollinen S_g :n määrä, jolla suojaus vielä toimii. Tämä on ratkaistu laskentaohjelmalla Kymenlaakson Sähköverkko Oy:ltä saaduilla parametreilla.

8.4.2.1. Virhelaukaisu case Tonttuvuori

Virhelaukaisun tapauksessa itse verkko vaikuttaa melko vähän suojaustilanteeseen. Tästä syystä seuraavaksi virhelaukaisutapaus on laskettu ainoastaan Tonttuvuoren muuntopiirissä, sillä tilanne Suuriniemen muuntopiirissä on hyvin samankaltainen.

Tonttuvuoren tapauksessa pahin tilanne on, kun mikrotuotantoa on mahdollisimman lähellä muuntamoaa lähdöllä numero 1, jota suojaava sulake on kooltaan 63 ampeeria. Laskettavaksi jää, kuinka paljon mikrotuotannon teho voi olla ennen kuin sulake toimii, tapauksessa, jossa mikrotuotantolaitos syöttää oikosulkuvirtaa muuntamokiskon kautta lähdöltä 1 lähdölle 2.

Suurin mahdollinen S_g :n arvo saadaan laskettua yhtälöstä:

$$I_{R1} = \frac{U_N / \sqrt{3}}{Z_g}, \text{ jossa } Z_g = \frac{U_N^2}{S_g}. \text{ Lisäksi tiedetään, että } U_N = 400 \text{ V ja } I_{R1} = 63 \text{ A.}$$

Raja-arvoksi saadaan laskemalla noin 43,8 kVA. Mikäli tuotanto liittyy verkkoon invertterin välityksellä, voidaan olettaa, ettei laitos syötä yli puolitoista kertaa nimellistehonsa verran oikosulkuvirtaa. Tässä tapauksessa ongelmia aiheuttavan laitoksen koko olisi siis noin 29 kVA. Mikäli tuotanto on epätahtigeneraattorituotantoa, on vastaava koko vain 7,3 kVA.

Edellisen kaltainen tilanne on kuitenkin kovin hypoteettinen, sillä tällöin mikrotuotanto olisi aivan muuntajan vieressä, eikä käytännössä syöttäisi mitään kohdetta. Lasketaan siis havainnollistamisen vuoksi myös tilanne, jossa mikrotuotanto on lähimmässä kulutuskohteessa.

Tonttuvuoren tapauksessa lähin kulutuskohde lähdöllä 2 on 134 metrin päässä muuntamosta. Kohde liittyy muuntamoon AMKA 3x25+35 kaapelilla, jonka johtavuustiedot on saatu Drakan kaapelitiedoista (liite E).

$$R_j = (0,134 \text{ km} \cdot 1,2 \Omega / \text{ km}) = 0,1608 \Omega$$

$$X_j = (0,134 \text{ km} \cdot 0,34 \text{ mH} / \text{ km} \cdot 2\pi 50 \text{ Hz}) = 0,0143 \Omega$$

Näistä tiedoista lasketaan oikosulkuimpedanssin itseisarvo:

$$Z_j = \sqrt{R_j^2 + X_j^2} = \sqrt{0,1608 \Omega^2 + 0,0143 \Omega^2} = 0,1614 \Omega$$

Kun huomioidaan myös johdon oikosulkuimpedanssi, joka näkyy sarjaimpedanssina generaattorin impedanssille, voidaan laskea raja-arvo lausekkeesta:

$$I_{R1} = \frac{U_N / \sqrt{3}}{Z_g + Z_j}, \text{ jossa } Z_g = \frac{U_N^2}{S_g} \text{ ja } U_N = 400 \text{ V ja } I_{R1} = 63 \text{ A.}$$

Näillä tiedoilla saadaan tuotannon raja-arvoksi noin 45,6 kVA. Tämä arvon on vain hieman suurempi kuin edellisessä tapauksessa, jossa johdon pituutta ei ole huomioitu.

Mikäli tuotanto liittyy verkkoon invertterin välityksellä, voidaan olettaa, ettei laitos syötä yli puolitoista kertaa nimellistehonsa verran oikosulkuvirtaa. Tässä tapauksessa ongelmia aiheuttavan laitoksen koko olisi siis noin 30 kVA. Mikäli tuotanto on epätahtigeneraattorituotantoa, on vastaava koko vain 7,6 kVA.

8.4.3. Johtopäätökset

Esimerkkitapauksista nähdään, ettei suojauksen sokaistumistapausta tule eteen mikrotuotannon takia. Suojauksen sokaistumisen aiheuttava mikrotuotannon määrä on yli kymmenkertaisesti suurempi kuin esimerkeissä käytettyjen muuntajien nimellisteho. Suojauksen sokaistumista ei siis voida, mikrotuotannon vaikutuksista puhuttaessa, pitää realistisena ongelmana.

Laskuista havaitaan, että virhelaukaisu voi kuitenkin olla todellinen tilanne. Tonttuvuoren kaltaisessa muuntopiirissä jo 7 kW epätahtigeneraattori voi johtaa verkon suojauksen virhetoimintaan ja viattoman verkon osan laukeamiseen verkosta.

Verkkoyhtiön tulee huomioida virhelaukaisun mahdollisuus, kun verkkoon liittyy pienimuotoista hajautettua tuotantoa. Tarkat oikosulkulaskelmat on syytä tehdä. Verkkoyhtiön tulee varmistua siitä, ettei mikrotuotanto aiheuta turhia laukaisuja. Virhelaukaisu voidaan ehkäistä suuntaylivirtareleellä tai muulla oikosulkuvirran suuruutta havainnoivalla komponentilla. Mikäli suuntareleen vaihtaminen ei kustannuksiltaan ole kannattavaa, tulee verkon toiminnasta varmistua muilla keinoin.

8.5. *Loss-of-mains –tilanteen eli saarekekäytön havaitseminen*

Saarekekäytössä yksi tai useampi mikrotuotantolaitos jää syöttämään verkon osaa muun verkon ollessa jännitteettömänä. Saarekekäyttöongelmat ovat tiiviisti yhteydessä jälleenkytkentäongelmiin. Saareke voi muodostua vian seurauksena missä tahansa kytkein- tai katkaisijatoiminnossa.

Käytännössä tahaton saarekekäyttö tulee aina estää, ennen kaikkea turvallisuussyistä. Mikrotuotantolaitos ei saa syöttää verkkoon, silloin kun järjestelmän näkökulmasta verkko on jännitteetön. Tällainen toiminta voi johtaa suuriin turvallisuusriskeihin verkossa työskentelevälle henkilökunnalle.

Toinen syy on se, ettei mikrolaitosta ole yleensä suunniteltu toimimaan saarekkeessa. Siispä saarekkeessa tuotetun energian laatua ei voida taata. Energian laadunvaihtelut voivat vaurioittaa sekä verkon että kuluttajan laitteistoja. Asynkroninen uudelleenikäynnistys verkkoon voi johtaa samanlaisiin ongelmiin kuin epäonnistunut jälleenkytkentäkin.

Perinteisesti saarekekäyttöä hallitaan jännite- ja taajuusreileillä, jotka on sijoitettu mikrolaitoksen liityntäpisteeseen. Tyypillisesti laitos ei kykene syöttämään koko saarekkeen kuormaa, jännite ja taajuus romahtavat ja yksikkö irtoaa liittymispisteen suojauksella. Sama tapahtuu, jos yksikkö syöttää kuormiin nähden liikaa. Jos kuormat vastaavat tuotantoa kohtalaisesti, taajuus ja jännite eivät saavuta asetteluarvoja tai saavuttavat ne hitaasti. Tällöin ollaan poissa havaintoalueelta (None detection zone (NDZ)) [55]. Tällaisilta tapauksilta voidaan suojautua esimerkiksi ROCOF-tyyppisten releiden avulla. Tätä asiaa on käsitelty tarkemmin luvussa 7.

8.6. Jälleenkytkennät

Automaattista jälleenkytkentää käytetään jakeluverkossa poistamaan väliaikaiset oikosulut ja maasulut. Tilastollisesti jopa 90 % vioista poistuu automaattisella jälleenkytkennällä. Mikäli mikrotuotantolaitos ei kytkeydy irti jälleenkytkennän aikana, se voi ylläpitää jännitettä verkossa ja syöttää vikavirtaa oikosuluissa. Näin valokaari vikapaikassa ei pääse sammumaan, ja vika jää pysyväksi. [55]

Epäonnistuneella jälleenkytkennällä on merkittäviä seurauksia. Ensiksikin se vähentää verkon luotettavuutta pidempien käyttökeskeytysten muodossa. Se johtaa myös jännitekuoppien määrien kasvamiseen sekä häiriöihin muualla verkossa, kun tarvitaan enemmän katkaisuoperaatioita. Uusi jälleenkytkentä rasittaa sähköaseman muuntajaa ja muita komponentteja. Palamaan jäävä valokaari voi vaurioittaa eristimiä ja johtimia johtaen pahimmillaan pitkäaikaisiin huoltokeskeytyksiin. Jälleenkytkennän epäonnistuminen rasittaa myös mikrotuotantolaitosta ja sen laitteita. [55]

On tärkeää, että laitos kytkeytyy irti verkosta automaattisten jälleenkytkentöjen ajaksi. Laitos voi irrota suoraan alkuperäisen vian seurauksena, mutta viimeistään Loss of Mains -suojauksen tulee irrottaa laite saarekekäytöstä, kun jälleenkytkentä tapahtuu. Epäonnistuneet jälleenkytkennät ovat ongelmallisia erityisesti maasulkuvioissa, sillä niiden havaitseminen on mikrolaitteistolle haastavaa.

Loss of Mains (LoM) –suojauksen asetteluaika on tämän hetkisessä standardissa EN 50438 [31] määritetty olemaan 0,15 sekuntia. Jakeluverkon pikajälleenkytkennän kesto on noin 0,3 - 0,5 sekuntia. Mikäli mikrotuotantolaitos jää ylläpitämään vikaa, kunnes LoM-suojaus irrottaa sen, lyhenee jälleenkytkennän kesto pienimmillään 0,15 sekuntiin. Jälleenkytkentäaika voikin jäädä niin lyhyeksi, ettei vika korjaannu vaan jää pysyväksi. Tilanne voidaan välttää pidentämällä jälleenkytkentäaika 0,65 sekuntiin. Tällöin jälleenkytkennät toimivat yhtä luotettavasti kuin ennenkin, vaikka verkossa on hajautettua mikrotuotantoa.

Kun jännite palaa verkkoon, tulee tuotantolaitoksen automaattisesti kytkeytyä takaisin verkkoon sovitun viiveen jälkeen. Kytkeytymisaikoja olisi lisäksi hyvä porrastaa. Tätä asiaa on käsitelty tarkemmin luvussa 7.

8.7. Maasulkujen havaitseminen

Hajautetusti sijoitettu mikrotuotantolaitos ei osallistu verkon maasulkuihin samassa määrin kuin oikosulkuihin [55]. Näin ollen ei olekaan odotettavissa selektiivisyyteen ja herkkyyteen liittyviä ongelmia. Epäonnistuneen jälleenkytkennän ongelma kuitenkin säilyy. Mikrotuotantolaitos ei välttämättä havaitse maasulkua vaan jää syöttämään vikaa. Vasta LoM-suojaus irrottaa mikrotuotantolaitoksen ja näin jälleenkytkentäaika saattaa jäädä riittämättömäksi. Myös tältä ongelmalta voidaan välttyä pidentämällä jälleenkytkentäaikoja LoM-suojauksen toiminta-ajan verran.

Mikrotuotantolaitoksen maasulkusuojaus voidaan käsitellä Loss of Mains –tilanteena. Maasulussa mikrotuotantolaitos jää saarekkeeseen, jolloin sen saarekesuojaus irrottaa sen. Saarekesuojausta ei kuitenkaan voida pitää täysin luotettavana. Lisäksi oikein toimiva saarekesuojaus heikentää turvallisuutta, sillä se pidentää maasulun kestoa mikrotuotantolaitoksen suojauksen toimintanopeuden verran. Tämä johtaa vaarallisiin kosketus- ja askeljännitteisiin. [55]

8.8. Jakeluverkon suojaus tulevaisuudessa

Toistaiseksi Suomessa on asennettu melko vähän uusia mikrotuotantolaitoksia, ja näiden liittämiset on käsitelty tapauskohtaisesti. Mikäli mikrotuotannon määrä kasvaa ennusteiden mukaan, tulee mikrotuotantoa käsittävän verkon suojaussuunnittelusta jokapäiväisempää. Verkonhaltijalla tulee olla tietoa mikrotuotannon vaikutuksista verkon turvallisuuteen ja luotettavuuteen. Mikrotuotannon liittämisen suunnittelun tulisi kuulua verkon normaaliin suunnitteluun, ja hajautetusti sijoitellun mikrotuotannon vaikutus tulisi huomioida säännöllisesti tehtävissä tutkimuksissa, kuten tehonjakolaskelmissa.

Verkonhaltijan näkökulmasta mikrotuotantolaitokselle asetetut tekniset vaatimukset ovat tärkeitä, sillä ne määrittelevät laitoksen toiminnan vikatilanteissa. Laitoksen haltijalle asetetut vaatimukset tulee esittää mahdollisimman yksiselitteisesti. Tämä voi olla vaikeaa, ja laitteen- ja verkonhaltijan näkemykset voivat erota suuresti. Verkonhaltijan tulee olla valmis perustelemaan vaatimukset. Kommunikaatio tahojen välillä on ensiarvoisen tärkeää.

Voimalan kytkeminen ei saa aiheuttaa ohjeen mukaisesti tehtynä yli 4 %:n jännitteen nousua verkon liitäntäpisteessä [30]. Jäykkään verkkoon voidaan liittää enemmän hajautettua tuotantoa kuin heikkoon. Lisäksi oikosulussa tuulivoimalan vikavirtaosuus on pienempi ja näin sähköaseman suojauksen sokaistumisilmiö on vähäisempi. Siirtohäviöt pienenevät, jos tuulivoimala on lähellä kulutusta. [30]

Tässä luvussa on havaittu hajautetun tuotannon aiheuttavan tiettyjä jakeluverkon suojausongelmia. Edellä esitetty suojauksen sokaistumisilmiö voisi toteutuessaan johtaa vaaratilanteisiin. Laskentaesimerkkien tuloksista voidaan kuitenkin havaita, ettei suojauksen sokaistumista pääse pienjänniteverkossa käytännössä pientuotannon

vaikutuksesta tapahtumaan. Jotta suojauksen sokaistuminen olisi mahdollista, pientuotannon määrien tulisi olla epärealistisen suuria.

Toinen laskennassa käsitelty tapaus eli mahdollinen viattoman verkon osan virhelaukeaminen, on kuitenkin mahdollinen tilanne. Tilanne tulee entistä todennäköisemmäksi, jos mikrotuotanto on epätahtikonetuotantoa. Invertterin välityksellä liittyvän tuotannon vikavirran syöttökykyä rajoittavat invertterin sisäiset ominaisuudet, mutta epätahtikone voi syöttää suuria määriä oikosulkuvirtaa.

Verkkoyhtiön tulee huomioida, että kun verkkoon liittyy mikrotuotantoa, on tarkasteltava virhelaukaisujen mahdollisuus mikrotuotantoa sisältävässä verkon osassa. Jokainen tapaus tulee käsitellä erikseen.

9 Sähköturvallisuus ja sähkötyöturvallisuus

Mikrotuotannon verkkoon liittämiseen liittyy paljon turvallisuuskysymyksiä sekä selkeitä turvallisuusriskejä. Näitä kysymyksiä on käsitelty tässä luvussa. Lisäksi on pohdittu ratkaisuja turvallisuusriskeihin. Vakavimpana ongelmana on takasyötön mahdollisuus, joka asettaa verkossa työskentelevät asentajat vaaraan. Takasyöttötilanteet voidaan kuitenkin välttää turvalaitteilla sekä oikeilla työtavoilla.

9.1. Asennusturvallisuus

Tässä luvussa käsitellään mikrotuotannon turvallisuusvaatimuksia sähkötyöturvallisuuden kannalta. Sähkötyöturvallisuutta ja oikeita asennustapoja käsitellään useissa standardeissa, joita käydään läpi tässä luvussa.

Mikrotuotantolaitos tulee asentaa ja huoltaa valmistajan ohjeiden mukaan. Asentaessa tulee noudattaa standardia EN 50438 [31], SFS 6000 sarjaa [52], työturvallisuusstandardia SFS 6002 [62] sekä valmistajan asennusohjeita.

9.2.1. Merkitseminen

Mikrotuotantolähdöt tulee merkitä asianmukaisesti sekä itse laitoksen että verkon puolella. Käytännössä kaikki sellaiset paikat, jotka mikrotuotantolaitos voi tehdä jännitteisiksi, tulee merkata. Varoituskilpien tekstien tulee olla informatiivisia ja asianmukaisissa paikoissa, ja niiden tulee olla suomeksi [31].

Lisäksi verkonhaltijan tulee merkata jokainen mikrotuotantolaitos omaan seurantajärjestelmäänsä, jotta asentajalle voidaan jo työpaikalle lähtiessä antaa tietoa siitä, missä liittymispisteissä on mikrotuotantoa.

Varoituskilvet tulee sijoittaa ainakin:

- Kytkinlaitteeseen, johon mikrogenaattori on kytketty
- Kaikkiin kytkinlaitteisiin kuluttajan käyttöyksikön ja mikrogenaattorin välillä
- Mikrogenaattoriin
- Kaikkiin mikrogenaattorin erotuspaikkoihin [31]

Varoituskilven teksti voi olla esimerkiksi: Varo! Takajännitevaara!

Varoituskilvet tulee asettaa siten, että paikalla oleva asentaja tai maallikko huomaa ne varmasti. Lisäksi on tärkeää ohjeistaa asennushenkilökuntaa, jotta he tietävät mitä varoituskilpi tarkoittaa, miten mikrotuotantolaitoksen aiheuttama riski on huomioitava käytännön työssä ja miten varmistutaan kohteen jännitteettömyydestä.

Itse mikrogeneraattori tulee olla varustettu tietokilvillä asentajaa varten. Tietokilvestä tulee selvittää seuraavat tiedot:

- Valmistajan nimi tai merkki
- Tyyppinumero tai vastaava
- Nimellisteho
- Nimellisjännite
- Nimellistaajuus
- Vaiheet
- Tehokerroin

Nämä tiedot tulee ilmetä mikrogeneraattorista ja sen dokumenteista.

9.2.2. Työmenetelmät

Asennustyössä on tärkeää huolehtia asianmukaisesta työmaadoittamisesta. Mikrotuotannon yleistyessä tulee aina varmistua työkohteen jännitteettömyydestä ja lisäksi työmaadoittaa kohde molemmiin puolin. Mikrotuotanto voi aiheuttaa takasyöttöjännitteitä, joilta voidaan suojautua asianmukaisella työmaadoittamisella myös työkohteen alajännitepuolella.

SFS 6000 [52] sanoo, että laitoksen irrottamiseksi verkosta tulee olla keino. Jakeluverkon haltijalla täytyy olla joko rajoittamaton pääsy kytkimelle tai kaukokytkentämahdollisuus. SFS 6002 6.2.1. [62] sanoo, että erotus tulee tehdä näkyvällä ilmavälillä. Tämä saattaa kuitenkin olla liian kallis ja rajoittava vaatimus. Mikäli tämä vaatimus koetaan liian rajoittavaksi, olisi hyvä etsiä muita yhtä turvallisia vaihtoehtoja erottamisen toteuttamiseksi.

Eräs vaihtoehto voisi olla, että kohde irtikytetään etäluettavan mittarin kaukokytkentäominaisuudella. Tämän jälkeen tarkastetaan jännitteettömyys ja työmaadoitetaan. Oikeiden työmenetelmien korostaminen ja huolellinen tiedotus sekä maadoittaminen korostuvat. Mittarin katkaisukyky on tarkastettava mittarivalmistajilta.

Toisena vaihtoehtona voidaan selvittää, millaiset kustannukset aiheuttaisi automaattisen, ilmavälillisen vaihtokytkimen asentaminen. Mikäli kustannukset eivät ole liian suuret, automaattinen vaihtokytkin voisi olla yksi vaihtoehto. Vaihtokytkimen luotettavuudesta tulee myös varmistua.

Vaihtoehtoja ilmavälilliselle erotuskytkimelle olisi hyvä tutkia. Tämä tutkimus jää kuitenkin tämän diplomityön ulkopuolelle.

9.2. Turvallisuus asennuskiinteistössä

Mikrotuotanto asettaa haasteita myös kiinteistön sisäiseen sähköturvallisuuteen ja laitteiston käyttöturvallisuuteen. Näitä haasteita ja oikeita asennus- ja toimintatapoja on käsitelty tässä aliluvussa.

Kiinteistökeskuksessa (tai vastaavassa paikassa) tuotantolaitteiston johtolähdöllä on oltava selkeä erotin, joka on luotettava ja erotusasento on selkeästi nähtävissä.

Asianmukainen maadoittaminen sekä vikavirtasuojaus ehkäisevät mahdollisia kosketusjännitteitä. Mikrotuotantolaitteistot tulee kiinteistöasennuksissa suojata B-tyypin vikavirtasuojalla. Vikavirtasuojaus voi olla sähkökeskuksella, johon tuotantolaitos liittyy. Kuitenkin mikäli tuotantolaitoksen ja sähkökeskuksen välille on mahdollista kytkeä muita sähkölaitteita, tulee tuotantolaitoksella olla oma vikavirtasuojaja.

Sähkötietokorteissa ST-55.33 [69] sekä ST-55.34 [70] on käsitelty aurinko- ja tuulivoimalaitosten liittämistä rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään. Ne tarjoavat käytännön tietoa ja esimerkkejä rakennuksessa tapahtuvaan asennukseen sekä käyttöturvallisuuteen.

10 Mikrotuotannon tasehallinta ja markkinoille pääsy

Sähköä ei voida tehokkaasti varastoida, vaan sitä on jatkuvasti tuotettava yhtä paljon kuin sitä kulutetaan. Tästä kulutuksen ja tuotannon välisestä tasapainosta huolehditaan tasehallinnan avulla. Tasehallintaa hoitavat sähkömarkkinoiden osapuolet, jotka vastaavat siitä, että sähkön kulutus ja tuotanto ovat tasapainossa kunkin tunnin aikana.

Tasehallinta on monimutkainen prosessi, johon liittyy useita eri tahoja. Tähän liittyy myös se, miksi mikrotuotannon saattaminen markkinoille on haastavaa, ja miksi mikrotuotantolaitoksen on vaikea löytää sähkölleen ostaja.

Tasehallinnasta ja taseselvityksen hoitamisesta on säädetty Valtioneuvoston asetuksessa sähkön toimituksen selvityksestä ja mittauksesta [40] sekä Työ- ja elinkeinoministeriön asetuksessa sähköntoimitusten selvitykseen ja mittaukseen liittyvästä tiedonvaihdosta [65]. Seuraavaksi on selvitetty näiden säädösten pohjalta, miten tasehallinta ja siihen liittyvä taseselvitys hoidetaan. Lopuksi on pohdittu mikrotuotannon tasehallintaa ja pyritty löytämään yksinkertaisin tapa saattaa mikrotuotantoa markkinoille.

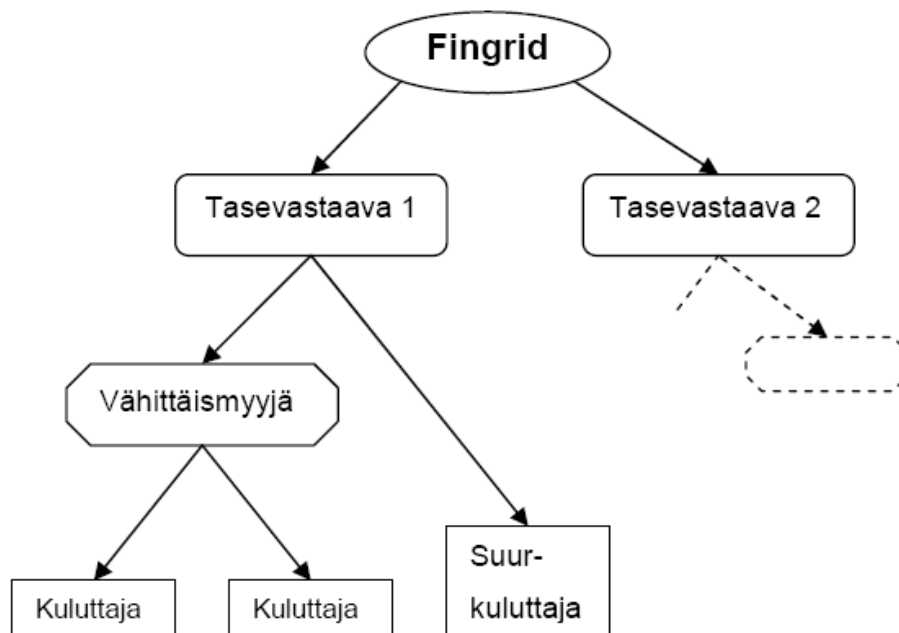
10.1. Tasehallinta

Sähkömarkkinoiden osapuolia ovat kaikki, joilla on kiinteitä sähköntoimituksia tai mitattua sähköntoimitusta kantaverkossa, alueverkossa tai useammassa kuin yhdessä jakeluverkossa. Jokaisella sähkömarkkinoiden osapuolella tulee olla yksi avoin toimittaja, joka tasapainottaa osapuolen sähkönhankinnan.

Vähittäismarkkinoilla käyttöpaikan sähkön myyjä on kyseisen käyttöpaikan avoin toimittaja. Avoimessa toimituksessa sähkön myyjä toimittaa asiakkaalleen joko kaiken asiakkaan tarvitseman sähkön tai sähkömäärän, joka tasapainottaa asiakkaan hankinnan ja käytön välisen erotuksen. Tasapainotuksen tapauksessa toimitus voi olla joko myyntiä tai ostoa.

Avointen toimitusten katkeamaton ketju alkaa tasesähköyksikkö Fingrid Oyj:stä päättyen yksittäiseen sähkönkäyttäjään. Osapuolta, jolla on voimassa oleva tasepalvelusopimus Fingridin kanssa, ja jonka avoimena toimittajana toimii Fingridin tasesähköyksikkö, kutsutaan tasevastaavaksi. Fingridin tasesähköyksikön ja tasevastaavan välistä avointa toimitusta kutsutaan tasesähköksi.

Tasevastaava tasapainottaa niiden toimijoiden taseen, joiden avoimena toimittajana se toimii, sekä ostaa tasesähköyksiköltä oman taseensa tasapainottamiseen tarvitsemansa sähkön. Jokaisella jakeluverkonhaltijalla tulee olla tasevastaava avoimena toimittajana. Tämä avoin toimittaja vastaa verkon häviöistä. Pienkuluttajan osalta tasevastuu kuuluu hänen avoimelle toimittajalleen eli sähkön vähittäismyyjälleen. Kuvassa 10.1. on havainnollistettu avoimien toimitusten ketjua. Nuolen suunta kertoo avoimen toimituksen suunnan.



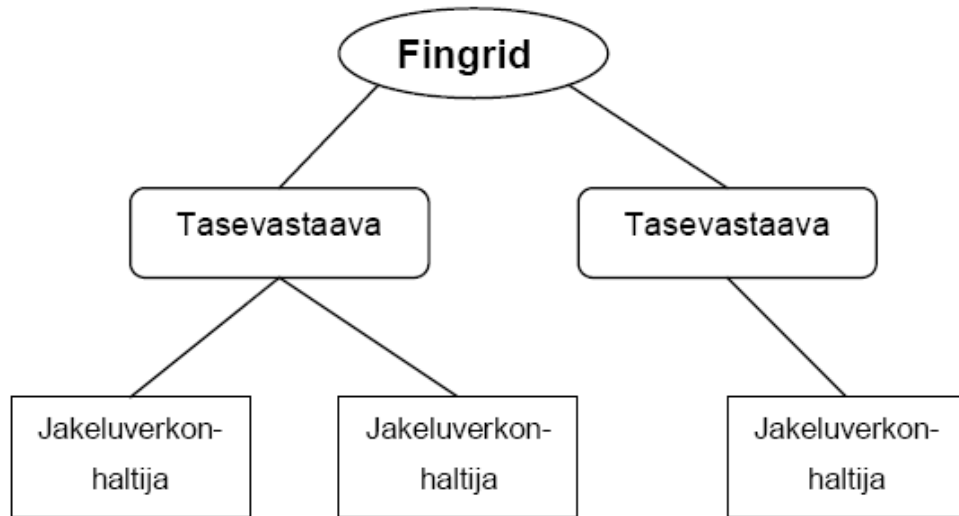
Kuva 10.1. Avoimien toimitusten ketju [64]

Tasesähkökauppa on tasesähköyksikön (Fingrid) ja tasevastaavan välillä käytävää sähkökauppaa, jolla osapuolet korjaavat kaupallisesti toimitusten ja hankintojen välisen tasepoikkeaman. Tasevastaavan käyttämän tasesähkön tunneittainen määrä selviää taseselvityksen tuloksena.

10.2. Taseselvitys

Taseselvityksen tarkoituksena on jälkikäteisesti selvittää kunkin markkinaosapuolen tunneittainen tuotanto ja kulutus sekä näistä seuranneet toimitukset. Taseselvitys perustuu tuntienenergiaoihin, jotka saadaan tuntienenergiamittauksista, kuormituskäyristä sekä kiinteiden toimitusten tiedoista. Mitattujen toimitusten määrien selvittäminen ja raportointi on verkonhaltijan vastuulla. Selvityksen lopputuloksena saadaan kunkin osapuolen sähkötase.

Suomessa on käytössä taseselvitysmalli, jossa selvitystyö on jaettu jakeluverkonhaltijoille, tasevastaaville sekä järjestelmävastaavalle (Fingrid). Suomen järjestelmävastaava Fingrid vastaa koko valtakunnan taseesta sekä taseesta ulkomaanyhteyksien suhteen. Fingridin tasesähköyksikön alapuolella ovat tasevastaavat, jotka vastaavat taseselvityksestä kantaverkkotasolla avointen toimitustensa osalta. Alimpana ovat jakeluverkonhaltijat, jotka vastaavat taseselvityksestä oman verkkonsa osalta. Tätä mallia on havainnollistettu kuvassa 10.2.



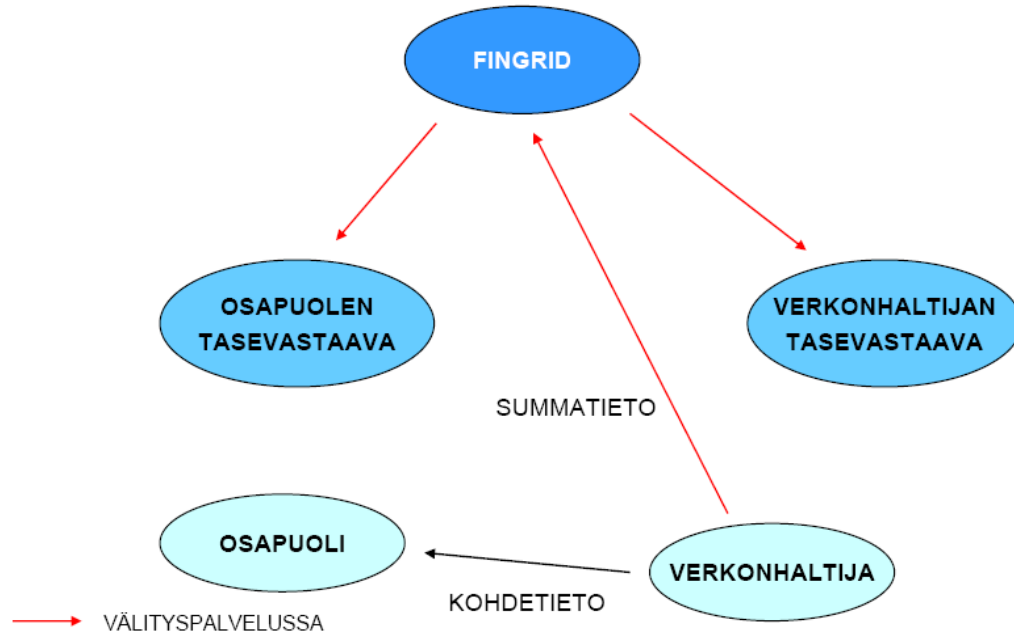
Kuva 10.2. Kuvassa on havainnollistettu Suomessa käytössä olevaa taseselvitysmallia. [64]

Fingridin laatiman ohjeen mukaisesti taseselvityksen vaiheet ovat seuraavat [63]:

1. Jakeluverkonhaltijat ilmoittavat Fingridin välityspalvelun kautta osapuolittaiset summatiedot, jotka Fingrid välittää edelleen tasevastaaville. Välityspalvelun periaatetta on havainnollistettu kuvassa 10.3.
2. Tasevastaava laskee jakeluverkonhaltijan antamista tiedoista sekä omista toimituksistaan taseen, jonka se ilmoittaa Fingridille.
3. Fingrid selvittää valtakunnallisen sähkötaseen sekä Fingridin ja tasevastaavien väliset sähkötaseet. Tuloksena saadaan tasevastaavien tasepoikkeamat sekä tasepoikkeama Suomen ja muiden maiden välillä.

VÄLITYSPALVELUN PERIAATE

- VERKOTTAISET SUMMATOIMITUSTIEDOT FINGRIDIN KAUTTA SEKÄ OSAPUOLEN ETTÄ VERKONHALTIJAN TASEVASTAAVALLE



Kuva 10.3. Välityspalvelun periaate. [66]

Välityspalvelussa Fingrid välittää tasevastaaville verkkoyhtiöiden laskemia myyjäkohtaisia summia määräaikojen puitteissa. Verkkoyhtiö kerää kohdetiedot ja laskee summatiedot. Verkonhaltija ilmoittaa summatiedot Fingridille, joka edelleen välittää tietoja tasevastaaville.

Taseselvityksen tiedonsiirto perustuu Ediel-standardiin. Tietoa siirretään suuria määriä päivittäin, ja tiedonsiirto onkin olennaisena osana sähkötaseesta huolehdittaessa.

10.3. Mikrotuotannon markkinoille pääsy ja tasehallinta

Kenellä tahansa on oikeus liittää tuotantolaitos sähköverkkoon, kun tuotantolaitos täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset. Kenellä tahansa on myös oikeus siirtää sähköä verkkoon, kun tuotantolaitoksen liityntä ja mittaus täyttävät niille asetetut vaatimukset, ja kun tuottajalla on ostaja verkkoon siirtämälleen sähkölle.

Käytännössä mikrotuotantolaitoksen tuottamalle sähkölle on vaikea löytää ostajaa, koska tuotanto on vähäistä ja ajalliselta vaihtelultaan arvaamatonta. Mikrotuotantolaitoksen on vaikeaa myydä sähkö markkinoille, sillä tuotanto on niin vähäistä, että tuotetun sähkön hallinnoiminen sähkömarkkinoilla ja tasehallinnassa aiheuttaa enemmän kuluja kuin sähkön myynnistä saa tuloja.

Lainsäädäntö ei nykyisessä muodossaan määrää ostovelvoitetta kenellekään markkinaosapuolelle. Ostovelvoite olisikin huono ratkaisu, sillä se vääristää markkinoita ja aiheuttaa aina välillisiä kuluja muille sähkönkäyttäjille. Ostovelvollisuus voitaisiin periaatteessa määrätä jollekin seuraavista tahoista: verkonhaltija, sähkön toimitusvelvollinen myyjä tai käyttöpaikan avoin toimittaja. Ostopakkoa ei kuitenkaan suositella, sillä se sisältää aina ongelman markkinoiden vääristymisestä ja kustannusten epätasaisesta jakautumisesta.

Verkonhaltijan rooli sähkön ostajana olisi kovin ristiriitainen sähkömarkkinoiden tämänhetkisten toimintaperiaatteiden kanssa. Ostaessaan pientuotantoa suuremmassa määrin verkonhaltijan rooli sotkeutuu sähkön myyjien kanssa. Lain mukaan sähköverkkoyhtiöt ja sähkön myyjät on erotettu toisistaan, eikä verkkoyhtiö täten edes lain mukaisesti saa toimia sähkön ostajana ja myyjänä. Näistä syistä ostovelvoitetta ei haluta verkonhaltijalle.

Toimitusvelvollinen myyjä kantaa nykyisessä markkinamallissa suurimmat taloudelliset riskit. Mikäli sille lisättäisiin ostopakko, kasvaisivat riskit entisestään. Ostopakkoa ei siis suositella määrättäväksi toimitusvelvolliselle myyjälle.

Mikäli ostovelvoite haluttaisiin ottaa käyttöön, olisi ainoa järkevä ostovelvollisuuden kohde käyttöpaikan avoin toimittaja. Ostopakko ei kuitenkaan ole markkinoiden toiminnan kannalta edullinen ratkaisu, määritettiin ostovelvollisuus mille taholle tahansa.

Ostajan löytämisen lisäksi mikrotuottajan markkinoille pääsyä vaikeuttavat sähkön tuottajalle kuuluvat vastuut. Kun sähköä halutaan myydä, tulee väistämättä eteen vastuu tuotannon ennustamisesta ja muusta tasehallinnoinnista. Myös kaupankäyntikustannukset vaikeuttavat mikrotuotannon myyntiä.

Seuraavaksi esitellään esimerkkejä mikrotuotannon tasehallinnasta ja siitä miten mikrotuotantolaitoksen markkinoille pääsy voitaisiin ratkaista ilman ostopakkoa.

10.3.1. Nykytilanne eli häviösähkömalli

Nykyään mikrotuotantolaitosten sähköä ei myydä markkinoille. Jotkut verkonhaltijat ovat tehneet erikoissopimuksia mikrotuottajien kanssa. Tällöin mikrotuottaja saa syöttää sähkönsä verkkoon, mutta verkonhaltija ei maksa siitä. Tätä asiaa on käsitelty myös aliluvussa 5.6.

Tässä tapauksessa verkkoon syötetty sähkö eli niin kutsuttu ylijäämäsähkö vähentää jakeluverkonhaltijan verkkoon kanta- tai alueverkoista tulevan sähkön määrää. Tämän vaikutus näkyy verkonhaltijan siirtohäviöiden pienenemisenä sekä toimitusvelvollisen myyjän taseen pienenemisessä. Ylijäämäsähkö ei näy erikseen taseselvityslaskennassa. Kun tämänkaltaista tuotantoa on vähän, vaikutus on mitätön, mutta tuotannon mahdollisesti lisääntyessä vaikutus tulee näkyviin.

Kun mikrotuotantoa liitetään yleiseen jakeluverkkoon pieniä määriä, esitelty käytäntö ei siis aiheuta ongelmia. Mikäli mikrotuotannon määrä kuitenkin kasvaa merkittävästi, alkaa tuotanto näkyä taseessa. Tällöin mikrotuotanto tulisi saada tasehallinnan piiriin. Nykykäytäntö on ollut toimiva ensiapu parempien toimintatapojen puuttuessa, mutta se ei ole kestävä ratkaisu pidemmällä tähtäimellä.

10.3.2. Mikrotuotantolaitos markkinatoimijana

Mikrotuotantolaitoksen haltija voi luonnollisesti halutessaan itse toimia sähkömarkkinoilla. Tässä kuitenkin tulee vastaan useita ongelmia. Sähköntuottajan on hoidettava kaikki markkinoillepääsyn vaatimukset, kuten sähkön myynti sekä tuotannon ennustaminen ja muut tasehallintaan liittyvät vaatimukset. Kun puhutaan mikrotuotannosta, jonka verkkoon syöttö on satunnaista tai vähäistä, muodostuvat hallinnointikustannukset liian suuriksi, jotta toiminta kannattaisi. Lisäksi markkinaosapuolena toimiminen vie merkittävästi aikaa, mihin mikrotuotantolaitoksen omistaja tuskin on valmis.

Markkinahinnalla saatava tuotto jäisi käytännössä hyvin pieneksi. Lisäksi tuottajalle voi tulla verovelvoitteita sekä lisäkustannuksia muun muassa kaupankäynnistä ja tasehallinnasta. Kaupankäynnin lisäkustannukset muulle sähkön pörssimyyjälle mikrotuotannon lisäämisestä ovat marginaaliset. Kustannukset yksittäiselle pientuottajalle ovat suuret tuloihin nähden. Lisäkustannuksena markkinoille myytäessä tulevat maksettavaksi siirtomaksut, joille on asetettu kattohinnaksi 0,07 c/kWh.

Toimintatapa, jossa mikrotuotantolaitos toimii itse markkinatoimijana, on kannattamaton. Lisäksi pientuottajan on vaikea löytää itselleen markkinakumppania, koska kiinnostusta sattumanvaraista ja vähäistä energiatuotantoa kohtaan ei juuri löydy. Ostopakkoa ei myöskään haluta osoittaa kenellekään. Tästä syystä mikrotuotantolaitosten markkinoille saattamiseen on löydettävä muita keinoja.

10.3.3. Aggregointi-malli

Aggregoija on toimija, joka kokoaa suuren määrän mikrotuotantolaitoksia yhteen ja käsittelee niiden yhteistuotantoa kuten yhden suuremman laitoksen tuotantoa. Aggregoija voi toimia käytännössä kahdella eri tavalla: itsenäisenä sähkömarkkinatoimijana tai kuten asiakas, jolla on omaa tuotantoa. Nämä tavat ja niihin liittyvät edut ja ongelmat on esitelty seuraavaksi.

10.3.3.1. Aggregoija sähkömarkkinatoimijana (tuottaja tai myyjä)

Sähkömarkkinoilla toimivaa aggregoijaa voidaan verrata sähköntuottajaan tai sähkönmyyjään, jolla on omaa tuotantoa, jota aggregoitu kapasiteetti edustaa. Molempien on hankittava sähkönsä ostaja, oltava vastuussa taseistaan sekä toimittava normaalien

sähkömarkkinoita koskevien säädösten mukaisesti. Tuottaja-aggregoija toimii vain tukkumarkkinoilla, kun taas sähkönmyyjä-aggregoija voi toimia sekä tukku- että vähittäismarkkinoilla.

Tuottaja-aggregoija voi myydä tuotantonsa joko pörssiin, mikäli aggregoitua kapasiteettia on tarpeeksi, tai kahden välisillä sopimuksilla tietyille ostajalle. Myyjä-aggregoija toimii markkinoilla, kuten muutkin sähkönmyyjät. Sen omaa tuotantoa vastaa sen aggregoima pientuotanto.

Mikäli aggregoija toimii itse sähkömarkkinoilla, ei sen toiminta eroa normaalin sähkönmyyjän toiminnasta. Tällöin tuntuu järkevältä, ettei aggregoija olisi irrallinen toimija vaan joku sähkönmyyjistä hoitaisi aggregointia osana bisnestään.

10.3.3.2. Aggregoija asiakkaana, jolla on omaa tuotantoa

Mikäli aggregoija haluaa toimia kuten asiakas, jolla on omaa tuotantoa, se voi sopia jonkun sähkönmyyjän kanssa sähkönmyyntistä kyseiselle myyjälle. Tällöin kyseinen sähkönmyyjä on aggregoijan avoin toimittaja.

Aggregoija siis kokoaa tuotannon ja tekee sopimuksen jonkun sähkönmyyjän kanssa, joka on sitten kaikkien koottujen mikrotuotantopaikkojen avoin toimittaja. Avoin toimittaja siis ostaa tuotetun sähkönmäärästä.

Mikäli tuotantokohteessa on myös käyttöä (kuten mikrotuotannon kohdalla yleensä), on pientuotantokohteessa tase selvityksen kannalta kaksi erillistä käyttöpaikkaa: tuotantopaikka ja kulutuspaikka. Jos molemmille paikoille on eri avoin toimittaja, tasehallinta ja tiedonvälitys monimutkaistuu. Yksinkertaisempi ratkaisu on, että samassa käyttöpaikassa sekä kulutuksella että tuotannolla on sama avoin toimittaja. Aggregoijan avulla tuotantoa voi olla helpompaa saada markkinoille, mutta yhtälailla voidaan toimia aliluvun 10.3.4. esittämällä tavalla ilman aggregoijaa.

Kun aggregoija ei ole itse avoin toimittaja vaan myy sähkönmäärästä avoimelle toimittajalle, on myös tase vastuu avoimella toimittajalla. Tällöin eteen voi tulla tiedonvaihto ja -hallintaongelmia. Kulutus ja tuotanto on ennustettava, ja tämä ennustettu kulutus ja tuotanto tulee ilmoittaa avoimelle toimittajalle. Avoimen toimittajan kanssa voidaan kuitenkin sopia, että tämä hoitaa ennusteet. Tämäkin malli on siis ongelmallinen.

10.3.4. Sähkönmyyjä tarjoaa ostotuotteen

Mikrotuotantolaitoksen on siis erittäin vaikeaa toimia itsenäisesti markkinoilla. Nykyinen häviösähkömalli ei ole kestävä ratkaisu. Yhtenä ratkaisuna voidaan nähdä aggregointimalli, jossa ulkopuolinen aggregoija myy kokoamiensa mikrotuotantolaitosten sähkönmäärästä markkinoille. Myös tässä mallissa on kuitenkin ongelmia.

Yksinkertaisin ja suositeltavin vaihtoehto mikrotuotannon markkinoille pääsyyn olisi myyjän tarjoama käyttöpaikan sopimus, joka sisältää ylijäämäsähkön oston. Sähkönmyyjä siis lisää valikoimaansa tuotteen, jossa se sitoutuu sekä myymään sähköä että ostamaan mikrotuotantolaitoksen sähkön tietyllä hinnalla, joka voi olla joko markkinahinta tai siihen sidottu hinta tai kiinteä hinta.

Myyjä huolehtii mikrotuotantolaitoksen tasehallinnasta ja sähkön myynnistä. Bonuksena sähkönmyyjä saa uuden asiakkaan. Tällaisella tuotteella voidaan houkutella uusia sähköasiakkaita. Avoimelle toimittajalle syntyy etu siitä, että se saa itselleen myös sähkön myynnin mikrotuotantokohteisiin. Myyjä saa siis ison ryppään uusia asiakkaita, mutta asiakas menettää mahdollisuuden kilpailuttaa sähkön ostonsa erikseen.

11 Koontia ohjeistukseen

Tämän työn yhtenä tarkoituksena on toimia apuna tehtäessä ohjeistusta verkonhaltijoille ja muille mikrotuotannosta kiinnostuneille tahoille mikrotuotannon liittämistä varten. Tässä luvussa on koottu yhteen asioita, joita ohjeessa tulee ottaa huomioon. Osaan asioista on pohdittu ratkaisua tämän työn puitteissa, mutta osa asioista vaatii lisäselvitystä. Tässä luvussa asioita ei arvoteta vaan ne ainoastaan kootaan yhteen, ja näin mahdollistetaan ohjeistuskokonaisuuden helpompi tarkastelu.

Työssä on useaan kertaan korostettu tiedonkulun merkitystä turvallisuuden kannalta. Myös työn pohjalta tehtävässä ohjeistuksessa tulee korostaa tätä asiaa. Tuotantolaitoksesta on aina ilmoitettava verkonhaltijalle, ja verkonhaltijan tulee päivittää kaikki tuotantolaitokset tietojärjestelmiinsä. Verkkoyhtiön asentajilla tulee töihin lähtiessään olla tieto kaikista verkossa olevista tuotantolaitoksista. Vastuu tuottajien ilmoittamisvastuusta tiedottamisesta ja verkossa työskentelevien henkilöiden turvallisuutta koskevasta opastuksesta on koko alalla.

Mikrotuotantoa on kaikki sellainen tuotanto, jonka tuottama sähkö käytetään ensisijaisesti kohteessa ja verkkoon syöttäminen on satunnaista tai vähäistä. Tässä työssä oli tarkastelun helpottamiseksi määritelty mikrotuotannolle sama raja kuin standardissa EN 50438 eli 11 kW. Työn tuloksia voidaan hyödyntää myös suuremmalle tuotannolle. Työn ulkopuolella on kuitenkin pohdittava tulisiko esimerkiksi muutaman sadan kilovolttiampeerin tuotantoa tarkastella erikseen ja tulisiko sille tehdä oma ohjeistus.

Yksivaiheiselle tuotannolle on tärkeää määrittää liittymisen kokoraja. Liian suuri yksivaiheinen tuotanto aiheuttaa epätasapainoa verkkoon ja vaarantaa verkon turvallisuuden ja luotettavuuden. Tässä työssä liittymisen maksimi sulakekooksi yksivaiheiselle tuotannolle määritettiin 16 A. Täten yksivaiheisin mikrotuotantolaitoksen maksimiteho saa olla noin 3,7 kVA.

Ohjeistusta varten olisi hyvä pohtia tulisiko Suomessa määrittää, miten paljon mikrotuotantoa saa liittää tiettyyn verkkoon. Luvussa 4. on todettu, että Espanjassa verkkoon pääsyn vaatimuksena on muun muassa se, ettei tuotannon kapasiteetti liittymispisteessä saa ylittää 1/20 verkon oikosulkukestoisuudesta kyseisessä pisteessä. Australiassa kyseinen rajoitus on vain 1/5. Lisäksi Espanjassa vaaditaan, ettei pienjänniteverkkoon kytkettyjen tuotantolaitosten yhteisteho liittymispisteessä saa olla yli 100 kVA eikä laitosten yhteenlaskettu nimellisteho saa olla yli puolta verkon kapasiteetista.

Sitä pitäisikö Suomessakin määrätä samalla tavalla raja, kuinka paljon tuotantoa saa liittää minkin suuruiseen liittymään, tulee pohtia tämän työn ulkopuolella. Tällaisen rajan määrittäminen helpottaisi verkkoyhtiön työtä ja selkeyttäisi prosesseja.

Sähköturvallisuusstandardien mukaan tuotantolaitos tulee olla erotettavissa näkyvällä ilmapälillä ja jakeluverkon haltijalla täytyy olla joko rajoittamaton pääsy kytkimelle tai

kaukokytkenämahdollisuus. Erotinvaatimusta on käsitelty luvussa 9. Erotuskytkin, johon verkkoyhtiön asentajille on pääsy saattaa olla liian kallis ja rajoittava vaatimus. Etenkin kun tuotantolaitoksen suojauksen tulee joka tapauksessa irrottaa laitos verkosta, kun sähkön syöttö verkosta päin katkeaa. Tämän työn ulkopuolella olisikin hyvä pohtia, voidaanko erottaminen tehdä muulla tavoin, kuitenkin siten että standardien esittämät turvallisuusvaatimukset edelleen täyttyvät.

Eräs vaihtoehto tuotantolaitoksen irrottautumisen varmistamiseksi voisi olla, että kohde irtikytetään etäluettavan mittarin kaukokytkenäominaisuudella. Tämän jälkeen tarkastetaan jännitteettömyys ja työmaadoitetaan molemmin puolin. Oikeiden työmenetelmien korostaminen ja huolellinen tiedotus sekä huolellinen molemminpuolinen maadoittaminen korostuvat. Mittarin etäkatkaisukyky on tarkastettava mittarivalmistajilta.

Toisena vaihtoehtona voidaan selvittää millaiset kustannukset aiheuttaisi automaattisen, ilmavälillisen vaihtokytken asentaminen. Mikäli kustannukset eivät ole liian suuret, automaattinen vaihtokytken voisi olla yksi vaihtoehto. Vaihtokytken luotettavuudesta tulee myös varmistua.

Luvussa 4. on havaittu, että tarkastelluissa maissa on erilaisia käytäntöjä laitoksen erottamisessa. Espanja ja Tanska vaativat erottimen, johon verkonhaltijalla on pääsy. Saksassa ja Itävallassa erotinta ei kuitenkaan vaadita, mikäli laite on teholtaan pieni (yksivaiheinen alle 4,6 kVA, kolmivaiheinen alle 30 kVA). Saksan ja Itävallan tapauksiin kannattanee tutustua Suomen käytännöistä päätettäessä.

Vaihtoehtoja ilmavälilliselle erotuskytkimelle on hyvä tutkia. Tutkimus jää kuitenkin tämän diplomityön ulkopuolelle.

Ohjeessa tulee olla esillä tuotantolaitoksen suojauksen kannalta oleelliset asetteluarvot laitoksen irtoamiselle verkosta. Nämä asetteluarvot on listattu taulukossa 11.1., joka on sama taulukko kuin taulukko 7.1.

Taulukko 11.1.

Parametri	Toiminta-aika	Asettelu-arvo
Ylijännite -taso 1	1,5 s	$U_n + 10 \%$
Ylijännite -taso 2	0,15 s	$U_n + 15 \%$
Alijännite -taso 1	5 s	$U_n - 15 \%$
Alijännite -taso 2	0,15 s	$U_n - 50 \%$
Ylitaajuus	0,2 s	51 Hz
Alitaajuus	0,5 s	48 Hz
Loss of Mains*	0,15 s	
*Loss of Mains -suojauksen eli saarekekäytönestosuojauksen tulee käyttää jakeluverkkoon sopivia havaitsemistekniikoita.		

Luvussa 7. kävi ilmi, ettei kaikissa verkkoonkytkentälaitteissa välttämättä ole vakio-ominaisuutena mahdollisuutta kahteen eri jänniterajaan. Mikäli käytössä on vain yhdet jänniterajat, tulee suojaus toteuttaa noudattaen taulukkoa 11.2.

Taulukko 11.2.

Parametri	Toiminta-aika	Asettelu-arvo
Ylijännite	0,15 s	$U_n + 10 \%$
Alijännite	0,15 s	$U_n - 15 \%$
Ylitaajuus	0,2 s	51 Hz
Alitaajuus	0,5 s	48 Hz
Loss of Mains	0,15 s	

Loss of Mains –suojaukseen tulee käyttää suojausmetodia, joka on riittävän nopea. Luvussa 7. tuli ilmi, että Suomen Loss of Mains –suojausvaatimus standardissa EN50483 oli lähes mahdoton toteuttaa. Työssä pohdittiin luotettavana, mutta yhtä nopeana suojausratkaisuna ROCOF-releen käyttöä. ROCOF-rele on käytössä myös Tanskassa. Tanskassa ei ole sallittua käyttää niin kutsuttuja aktiivisia Loss of Mains –suojausmetodeja, sillä ne aiheuttivat tuotantolaitosten turhia irtoamisia, kun siirtoverkkoon kytkeytyi suuria reaktiivisia kuormia.

Tuotantolaitoksen suojauksen tulee taata, että tehon syöttö verkkoon alkaa vasta, kun verkon jännite ja taajuus ovat olleet suojausasetusten sallimissa rajoissa vähintään tietyn minimiajan, joka on vaihtovirtageneraattoreille 3 minuuttia ja invertterillä liitetyille järjestelmille 20 sekuntia. Mikrogeneraattorin synkronointi verkon kanssa tulee olla täysin automatisoitua.

Takaisin verkkoon tahdistuminen olisi hyvä suorittaa porrastetusti, erityisesti jos saman liittymispisteen takana on paljon mikrotuotantolaitoksia. Porrastus olisi mahdollista hoitaa esimerkiksi siten, että verkkojännitteen ja taajuuden palaututtua sallittuihin

rajoihin invertteri tahdistuu verkkoon 0-15 sekunnin satunnaisviiveellä. Tällöin tahdistumisaika vian palauduttua olisi 20-35 sekuntia.

Mikrotuotantolaitosten syöttämät oikosulkuvirrat asettavat haasteita verkon suojaukselle. Tätä asiaa on käsitelty tarkemmin luvussa 8. Tässä luvussa todettakoon kuitenkin, että liittämishjeistukseen tulee listata verkonhaltijoille olennaiset suojaustapaukset, joihin mikrotuotanto voi vaikuttaa. Merkittävimmät ongelmatapaukset ovat mahdollinen suojauksen sokaistuminen sekä viattoman lähdön virheellinen laukaisu. Näistä tapauksista virhelaukaisu on kriittisempi. Tapauksia on käsitelty tarkemmin luvussa 8.

Kun mikrotuotannon määrät kasvavat voidaan joutua tilanteeseen, jossa verkon vikatilanteessa mikrotuotantolaitos syöttää niin paljon oikosulkuvirtaa vikapaikkaan, ettei verkon suojaus muuntamalla havahdu vikaan vaan vika jää huomaamatta. Mikrotuotanto voi myös aiheuttaa virhelaukaisun lähdöllä, mikäli mikrotuotantoa on merkittäviä määriä pienehkön muuntamon takana. Kun mikrotuotantoa liitetään verkkoon, on verkonhaltijan hyvä tarkastaa suojausten toimivuus.

Yksi verkolle aiheutuva haaste liittyy pikajälleenkytkentöihin. Mikäli verkon suojauksessa käytetään pikajälleenkytkentöjä, tulee mikrotuotantoa liitettäessä huomioida mikrotuotannon liitälaitteiden rajallinen katkaisuaika. Mikrotuotantolaitoksen tulee kaikissa vikatapauksissa irrota enintään 0,15 sekunnin kuluessa vian havaitsemisesta. Jos jälleenkytkentä aika on vain 0,5 sekuntia, jää vian poistumiselle aikaa vain 0,35 sekuntia, mikäli verkossa on mikrotuotantoa, joka voi syöttää vikapaikkaan. Helpoin ratkaisu suojauksen parantamiseksi on pidentää jälleenkytkentäaikoja 0,65 sekuntiin.

Muun muassa edellä mainittuja asioita tullaan käsittelemään työn pohjalta tehtävässä ohjeistuksessa.

12 Yhteenveto

Tässä Energiateollisuus ry:n teettämässä työssä selvitettiin pienimuotoisen hajautetun tuotannon nykytilaa Suomessa sekä sen kehitysmahdollisuuksia. Kotimaisen selvityksen tueksi tarkasteltiin eräiden Euroopan maiden pientuotantotilanteita.

Tarkastelussa havaittiin, että Suomessa on runsaasti potentiaalia pienimuotoisen uusiutuvan tuotannon lisääntymiseen. Monilla tahoilla on myös paljon tahtoa pienimuotoisen tuotannon edistämistä kohtaan. Kansainvälisessä vertailussa havaittiin kuitenkin, että pienimuotoisen tuotannon määrien räjähdysmäinen kasvu on ollut seurausta suurista tukipaketeista, jollaisiin ei ainakaan toistaiseksi olla Suomessa siirtymässä.

Sekä taloudelliset hyödyt että ekologisten arvojen merkityksen kasvaminen voivat kuitenkin lisätä pienimuotoista hajautettua tuotantoa Suomen sähköverkossa lähivuosina merkittävästi. Lisäys lienee ainakin aluksi maltillista, mutta esimerkiksi liityntä- ja tuotantolaitteiden merkittävä halpeneminen voi aiheuttaa suuren kasvun pienimuotoisessa hajautetussa sähköntuotannossa.

Työn kannalta oli tärkeää määrittää, mitä käsitetään mikrotuotannoksi. Mikrotuotannon määritettiin käsittävän pienimuotoista sähköntuotantoa, jonka ensisijainen tarkoitus on hyödyttää tuottajaa omakäytön sähkölaskua pienentämällä. Verkkoon syöttäminen on vain toissijainen motiivi. Työssä määriteltiin myös sulakeraja yksivaiheiselle tuotannolle. Sulakerajaan 16 A päädyttiin yhteistyössä useiden sähkönlaadun asiantuntijoiden kanssa.

Yksivaiheisen tuotannon kokoraja on tekninen raja, jonka avulla varmistutaan verkon toimimisesta oikein. Kolmivaiheisen tuotannon osalta ei ole tarpeen määritellä absoluuttista kokorajaa mikrotuotannolle. Tässä työssä kuitenkin käytettiin rajauksena 3x16 A, jotta työn lukijalle selviää, minkä suuruusluokan laitteista puhutaan.

Työssä koottiin yhteen mikrotuotannolle asetettuja vaatimuksia ja suosituksia sekä tarkastettiin vaatimusten järkevyyttä. Materiaalina oli useita kotimaisia ja kansainvälisiä standardeja. Lisäksi konsultoitiin muun muassa verkonhaltijoita, laitevalmistajia sekä standardien valmisteluun osallistuneita tahoja. Työssä todettiin standardin EN 50438 menevän uudelleen kirjoitettavaksi syksyllä 2009 ja pohdittiin, tuleeko standardiin tehdä muutoksia Suomen osalta, kun se tulee lausuntokierrokselle.

Työssä havaittiin, että Suomen nykyinen Loss of Main –suojausvaatimus, joka on kirjattu standardiin EN 50438, on epärealistinen. Työssä pohdittiin LoM-suojausratkaisuksi ROCOF-releellä toteutettua suojausta. Samanlainen suojaus on käytössä Tanskassa alle 16 A mikrotuotantolaitoksille. Tätä esitettäneen myös standardiin EN 50438, kun se uudistetaan.

Tämän työn pohjalta laaditaan ohjeistus mikrotuotannon liittämistä verkkonhaltijoille, laitevalmistajille, asentajille ja tuotantolaitoksen hankkijalle. Ohjeistus tähtää yhtenäiseen toimintamalliin koko maassa.

Työssä käytiin läpi jakeluverkon suojausta, kun verkkoon liittyy mikrotuotantoa hajautetusti. Työssä selvitettiin, miten suuri määrä mikrotuotantoa vaikeuttaa jakeluverkon suojauksen toimintaa. Muiden suojausongelmien havaittiin olevan epätodennäköisiä, mutta mikrotuotantolaitos voi aiheuttaa pikajälleenkytkennän epäonnistumisen tai verkon ehjän osan irtoamisen saman muuntajan toisella lähdöllä tapahtuvassa viassa.

Mikrotuotantolaitos irtoaa verkon vioissa 0,15 sekunnissa. Tämä tarkoittaa jälleenkytkentäaikojen lyhenemistä mikrotuotantolaitoksen syötön vuoksi. Ratkaisuna on jälleenkytkentäaikojen pidentäminen 0,15 sekunnilla.

Mikrotuotantolaitos saattaa aiheuttaa viattoman verkon haaran irtoamisen tilanteessa, jossa vika on mikrotuotantolaitoksen kanssa saman muuntajan eri lähdöllä. Kun tällaisiin kohteisiin asennetaan mikrotuotantoa, tulee verkkonhaltijan aina huomioida mikrotuotannon mahdolliset suojausvaikutukset. Ratkaisuna ongelmaan voidaan sulakkeen tilalle vaihtaa suuntaylivirtarele tai käyttää muuta pätevää ratkaisua virhelaukaisujen välttämiseksi.

Työssä pohdittiin ja selvitettiin mikrotuotannon mukanaan tuomia turvallisuushaasteita. Työssä todettiin, että takasyötön riski on suurin yksittäinen turvallisuusriski, joka liittyy mikrotuotantoon. Tapoja turvallisesti työskentelyyn verkossa tulee siis korostaa ja kerrata asentajien keskuudessa, kun verkkoon liittyy hajautettua tuotantoa. Työmaadoittaminen ja tiedotus sekä varoituskyltein että verkkonhaltijoiden tietojärjestelmien avulla korostuu.

Työssä havaittiin, että mikrotuotantolaitoksen standardien mukainen erottaminen näkyvällä ilmeillä, siten että jakeluverkonhaltijalla on rajoittamaton pääsy erottimelle, on haastavaa. Tämän työn ulkopuolella olisikin hyvä pohtia, voidaanko erottaminen tehdä muulla tavoin, kuitenkin siten että standardien esittämät turvallisuusvaatimukset edelleen täyttyvät.

Työn lopussa käsiteltiin mikrotuotannon tasehallintaa ja havaittiin sen olevan avoin kysymys. Tämä aihe kaipaakin jatkoselvitystä, jotta mikrotuotantolaitosten verkkoon syöttämä sähkö saadaan asiallisesti markkinoille ja tasehallinnan piiriin. Ongelmaa ei ole vielä, mutta mikäli pienimuotoisen tuotannon määrät kasvavat merkittävästi, tulisi toimintamalli olla jo valmiina.

Kokonaisuudessaan työssä havaittiin mikrotuotannon asettavan haasteita nykyisen pienjänniteverkon sekä sähkömarkkinoiden toiminnalle. Haasteisiin pystytään kuitenkin vastaamaan ja mikrotuotannon lisääntyminen ei olekaan uhka verkkonhaltijalle.

Lähteet

- [1] Sähkömarkkinalaki (386/1995). Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1995/19950386> (20.7.2009)
- [2] Valtioneuvoston asetus sähkömarkkinoista (65/2009). Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090065> (20.7.2009)
- [3] Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta (1260/1996) 5 §. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961260> (20.7.2009)
- [4] Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta (1260/1996) 8 §. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961260> (20.7.2009)
- [5] FINGRID Oyj. Kantaverkkopalvelusopimus 1.1.2008 - 31.12.2011. Saatavissa:
<http://www.fingrid.fi>
- [6] Energiamarkkinavirasto. Saatavissa:
<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/index.asp?start=1&languageid=246> (22.5.2009)
- [7] VTT. Pienimuotoisen tuotannon verkkoon pääsyn edistäminen Nro VTT-R-02857-06. Saatavissa: http://www.tem.fi/files/16210/VTT-R-02857-06_Pientuotannon_verkkoonpaasyn_edistaminen.pdf (2.4.2009)
- [8] B. Erat, V. Erkkilä, C. Nyman, K. Peippo, S. Peltola, H. Suokivi. Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen Yhdistys ry. 2008. ISBN 978-952-92-2721-1 (s. 120-151)
- [9] Jukka Nieminen, NapsSystems ja Aurinkoteknillinen yhdistys. Sähköpostikeskustelu. 30.3.2009.
- [10] Pienvesivoimayhdistys ry. Voimalatietoa-verkkosivut. Saatavissa:
<http://server.perlasoft.fi/vesivoima/index.php?PAGE=14&LANG=1> (20.7.2009)
- [11] PR Vesisuunnittelu. Pienvesivoimakartoitus minivesivoimasektori < 1 MW. Kauppa- ja teollisuusministeriölle tehty selvitys. 2005. KTM Dnro 58/804/2004.
- [12] Tuulivoimala.com. Tuulivoimakäsikirja. Saatavissa:
<http://212.16.107.82/images/stories/TuotePDF/Tuulivoimakasikirja.pdf> (16.4.2009)
- [13] Suomen Tuulivoimayhdistys ry:n kotisivut. Saatavissa:
<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/node/16> (25.5.2009)
- [14] Nurminen Kari. Hajautettujen Energiaresurssien liityntä sähköverkon ohjaus- ja automaatiojärjestelmiin. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Espoo. 2004.

- [15] Tuomo Vilkkilä. Biokaasulaitos esimerkkimaatilalle. Esiselvitys. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Bioenergiakeskuksen julkaisusarja (BDC-Publications) Nro 28. 2007. 32 s.
- [16] VTT. Tuulivoimatilasto 12/2008. Saatavissa: http://www.vtt.fi/files/projects/windenergystatistics/2008_12.pdf (20.4.2009)
- [17] Anni Mikkonen, Suomen Tuulivoimayhdistys. Sähköposti 20.3.2009.
- [18] Tomi Räisä, Tuulivoimala.com Finland Oy. Sähköpostikeskustelu 23.3.2009.
- [19] Ismo Kantonen, Finnwind Oy. Sähköpostikeskustelu 15.3.2009.
- [20] Jukka Nieminen, NapsSystems ja Aurinkoteknillinen yhdistys. Sähköpostikeskustelu. 30.3.2009.
- [21] Peter Reiter, Pienvesivoimayhdistys. Sähköpostikeskustelu 19.4.2009.
- [22] Energiamarkkinavirasto. Tilasto verkkoyhtiöiden tunnusluvuista. Saatavissa: www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Tunlu06.xls (2.6.2009)
- [23] Eurelectric. Tilasto Euroopan maiden sähkön kulutuksesta ja tuotannosta. 2006. Saatavissa: <http://www2.eurelectric.org/content/default.asp?PageID=618> (20.3.2009)
- [24] EUROPA-sivusto. EU:n jäsenvaltiot. Saatavissa: http://europa.eu/abc/european_countries/eu_members/index_fi.htm (22.5.2009)
- [25] Statens offentliga utredningar. Grid Issues for Electricity Production Based on Renewable Energy Sources in Spain, Portugal, Germany, and United Kingdom. Annex to Report of the Grid Connection Inquiry. Tukholma. 2008. 215 s. ISBN 978-91-38-22915-6. ISSN 0375-250X.
- [26] J. Oyarzabal, R. Rodriguez. Regulatory regimes for supporting development of microgrids. Ja 6. Annex: Requirements for LV grids in Spain. 2005. Saatavissa: http://www.microgrids.eu/micro2000/delivarables/Deliverable_DG2.pdf (10.6.2009)
- [27] R. Bründlinger, Benoît Bletterie. Unintentional islanding in distribution grids with a high penetration of inverter-based DG: Probability for islanding and protection methods. 2005 .Sivut 1 – 7. IEEE Xplore Digital Object Identifier 10.1109/PTC.2005.4524519.
- [28] Eurelectric, WGP Power Tech. The European Union, 25 different countries, 25 different energy policies...? An overview. Director University of Leuven Energy Institute – K.U.Leuven. Saatavissa: http://www.eusustel.be/public/documents_public/The%20European%20Union_final.pdf (13.5.2009)
- [29] Kimmo Kauhaniemi, Timo Haapalainen, Johan Nyberg, Sampo Voima, Seppo Hänninen. Tuuliverkko loppuraportti. Vaasan Yliopisto ja VTT. Vaasa. 2008. 96 s.

- [30] Johan Nyberg. Tuulivoimaloiden verkkoonliitännän vaatimukset jakeluverkon suojauksen kannalta. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 2008. 101 s.
- [31] CENELEC-standardi EN 50438. Requirements for the connection of micro-generators in parallel with public low-voltage distribution networks. 2007. 53 s.
- [32] Commission of the European Communities. The support of electricity from renewable energy sources. Brysseli. 2005. Saatavissa:
http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_electricity_en.pdf
- [33] Kauppa- ja teollisuusministeriö. Energiaosasto. Pienimuotoisen sähköntuotannon verkkoon pääsyn helpottaminen. Muistio. 2006. Saatavissa:
[http://www.tem.fi/files/16211/raportti_pienimuotoisen_tuotannon_verkkoonpaasy_180406_SIISTI_\(2\).pdf](http://www.tem.fi/files/16211/raportti_pienimuotoisen_tuotannon_verkkoonpaasy_180406_SIISTI_(2).pdf) (13.5.2009)
- [34] Energinet.dk. Regulation E: Settlement of environmentally-friendly electricity generation. Saatavissa:
<http://www.energinet.dk/en/servicemenu/Library/Rules+and+Regulations/Common+market+regulations+for+electricity+in+Eastern+and+Western+Denmark/CommonmarketregulationsforelectricityinEasternandWesternDenmark.htm> (26.6.2009)
- [35] Energinet.dk. Technical Regulation for Electricitygenerating Facilities of 11 kW or lower. Regulation for grid connection TF 3.2.1. 2008. Saatavissa: www.energinet.dk (20.3.2009)
- [36] Allan Norsk Jensen, Danskenergi. Sähköposti 25.6.2009.
- [37] Energinet.dk. Wind turbines connected to grids with voltages below 100 kV, English version of Technical Regulations TF 3.2.6. Tanska. 2003. 40 s. Saatavissa: www.energinet.dk.
- [38] Walter Tenschert. Energie AG Oberösterreich Netz GmbH. Smart Grids in Austria. Esitysmateriaali. 5.3.2009.
- [39] Elina Lehtomäki, Energiateollisuus ry. Pienimuotoisen tuotannon verkkoon liittäminen. Muistio. 2008. 6 s.
- [40] Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta. Annettu Helsingissä 5 päivänä helmikuuta 2009. Luku 6. Sähköntoimitusten mittaus sähköverkossa ja kiinteistön sisäisessä verkossa.
- [41] Juha Lohvansuu, Aidon. Sähköposti 3.4.2009.
- [42] Enease Oy. Sähkön pienkuluttajien etäluettavan mittaroinnin päivitetty tila. Raportti Kauppa- ja teollisuusministeriölle. 19.11.2007. 19 s.

- [43] Energiateollisuus ry. Sähköntuotannon liittymisehdot (TLE05). 2005. Saatavissa esimerkiksi: http://www.helen.fi/pdf/Sahkontuotannon_liittymisehdot3.pdf (5.8.2009)
- [44] Energiateollisuus ry. Sähköntuotannon verkkopalveluehdot (TVPE05). 2005. Saatavissa esimerkiksi: http://www.vattenfall.fi/www/vf_fi/vf_fi/Gemeinsame_Inhalte/DOCUMENT/196002vatt/645327verk/P0281295.pdf (5.8.2009)
- [46] Energiateollisuus ry. Verkkopalveluehdot (VPE05). 2005. Saatavissa esimerkiksi: <http://www.helen.fi/pdf/Verkkopalveluehdot2.pdf> (5.8.2009)
- [47] Tulli. Sähkön valmistevero. Saatavissa: http://www.tulli.fi/fi/02_Yritykset/04_Valmisteverotus/01_Valmisteverolajit/06_Sahkon_ja_eraiden_polttoaineiden_valmistevero/index.jsp (4.5.2009)
- [48] Bettina Lemström, Ylitarkastaja Energiaosasto Työ- ja elinkeinoministeriö. Sähköposti. 6.4.2009.
- [49] Elina Lehtomäki. Energiateollisuus ry:n Sähkön laadun asiantuntijaryhmän kokousmuistio. 26.5.2009. 3 s.
- [50] Pöyry Energy Oy. Sähkön pientuotannon liittäminen verkkoon.. Motiva Oy. 2006. 41 s. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/232/Sahkon_pientuotannon_liittaminen_verkkoon.pdf (16.7.2009)
- [51] IEC tekninen raportti (luonnos) EN 61000-3-15. Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3-15: Limits - Assessment of low frequency electromagnetic immunity and emission requirements for dispersed generation systems in LV network. 2009. 30 s.
- [52] Standardi SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. 2007. ISBN 978-952-5650-43-3. 583 s.
- [53] Standardi EN 60255-6. Electrical relays. Measuring relays and protection equipment.
- [54] Manfred Dach, SMA Solar Technology AG. Sähköpostikeskustelu. 4.6.-8.6.2009.
- [55] Kari Mäki. Novel Methods for Assessing the Protection Impacts of Distributed Generation in Distribution Network Planning. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 2007. 69 s.
- [56] IEC-standardi EN 61000-6-1 (luonnos). Electromagnetic compatibility (EMC). Part 6-1: Generic standards. Immunity for residential, commercial and light-industrial environments. 2004. 25 s.
- [57] Standardi EN 61000-6-3. Electromagnetic compatibility (EMC). Generic standards. Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments

- [58] Standardi SFS-EN 50160 Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. 2008. 38 s.
- [59] Energiateollisuus ry. Sähkötoimituksen laatu- ja toimitusvirheen sovellusohje. 20.5.2005. 45 s.
- [60] Standardi EN 61000-3-2. Limits for harmonic current emissions (equipment input current up to and including 16A per phase).
- [61] IES-standardi EN 61000-4-11. Electromagnetic compatibility (EMC). Parte 4-11: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests. 2004. 26 s.
- [62] Standardi SFS 6002 Sähköturvallisuus. 2007. ISBN 978-952-5650-43-3.
- [63] Fingrid Oyj. Tasepalvelun sovellusohje 1.1.2009 alkaen. Saatavissa:
- [64] Tatu Pahkala. Tasehallinta pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, sähkötekniikan laitos. Espoo. 2006. 89 s. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2006/urn007626.pdf> (21.7.2009)
- [65] Työ- ja elinkeinoministeriö. Asetus sähkötoimitusten selvitykseen liittyvästä tiedonvaihdosta. Annettu Helsingissä 9 päivänä joulukuuta 2008. Saatavissa: http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkokauppa/ediel-sivut/lait_ja_asetukset/tema%20s%C3%A4hk%C3%B6toimitusten%20selvitykseen%20liittyv%C3%A4st%C3%A4%20tiedonvaihdosta_20081209.pdf (21.7.2009)
- [66] Fingrid Oyj. Kuvalähde.
- [67] Energiateollisuus ry. Tuntimittauksen periaatteita 2009. Suositusluonnos.
- [68] Energiateollisuus ry. Verkostotöiden kustannusluettelo.
- [69] Sähkötieto ry. Sähkötietokortti ST-55.33. Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään. 2009. 5 s.
- [70] Sähkötieto ry. Sähkötietokortti ST-55.34. Tuulienergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään. 2009. 4 s.

Liitteet

LIITE A VTT:N TUULIVOIMATILASTO 12/2008

Tuulivoimalaitos	Laitevalmistaja	Nimelliste- ho (kW)	Vuosituotanto 2008 (MWh)
Huittinen 1	Nordtank	75	24
Korsnäs 1	Nordtank	200	338
Korsnäs 2	Nordtank	200	283
Korsnäs 3	Nordtank	200	256
Korsnäs 4	Nordtank	200	332
Vaasantie	Windworld	220	101
Ormhälla	Vestas	225	429
Bredvik	Vestas	225	372
Koppelo	Vestas	225	243
Marjamäenvuori	Vestas	225	92
Krisantie*	NEGMicon	250	90
Säikkä 1	Nordtank	300	505
Säikkä 2	Nordtank	300	525
Rahja 1	Nordtank	300	0
Rahja 2	Nordtank	300	0
Kemi 1	Nordtank	300	273
Kemi 2	Nordtank	300	286
Kemi 3	Nordtank	300	276
Pori 1	Nordtank	300	446
Marjaniemi 1	Nordtank	300	619
Marjaniemi 2	Nordtank	300	608
Lammasoivi 1	Bonus	450	490
Lammasoivi 2	Bonus	450	436
Marjaniemi 3	Nordtank	500	1097
Huikku	Nordtank	500	916
Vatunki 1	Nordtank	500	510
li	Nordtank	500	491
Mellanön	Vestas	500	1158
Kökar 1	Enercon	500	1469
Vårdö 1	Enercon	500	1094
Pettböle 1	Enercon	500	1105
Pettböle 2	Enercon	500	1077
Tauvo 1	Nordtank	600	1089
Tauvo 2	Nordtank	600	952
Knutsboda 1	Vestas	600	1133
Knutsboda 2	Vestas	600	1227
Knutsboda 3	Vestas	600	1141
Knutsboda 4	Vestas	600	1084
Lammasoivi 3	Bonus	600	972
Olos 1	Bonus	600	788

Olos 2	Bonus	600	751
Olos 3	Bonus	600	786
Olos 4	Bonus	600	788
Olos 5	Bonus	600	791
Brättö	Enercon	600	1694
Pettböle 3	Enercon	600	971
Lumparland 1	Enercon	600	1494
Lumparland 2	Enercon	600	1415
Routunkari	Vestas	660	1263
Kasberget	Vestas	660	1811
Kuivamatala 1	NEGMicon	750	1025
Kuivamatala 2	NEGMicon	750	1019
Kuivamatala 3	NEGMicon	750	1021
Öskata 1	NEGMicon	750	1217
Vatunki 2	NEGMicon	750	1013
Vatunki 3	NEGMicon	750	991
Vatunki 5	NEGMicon	750	928
MeriPori 1	Bonus	1000	1878
MeriPori 2	Bonus	1000	2019
MeriPori 3	Bonus	1000	1965
MeriPori 4	Bonus	1000	1924
MeriPori 5	Bonus	1000	2193
MeriPori 6	Bonus	1000	2624
MeriPori 7	Bonus	1000	2539
MeriPori 8	Bonus	1000	2489
Kotka 1	Bonus	1000	1595
Kotka 2	Bonus	1000	1838
Kokkola 1	WinWinD	1000	1748
Kokkola 2	WinWinD	1000	2489
Riutunkari T4	WinWinD	1000	2137
Riutunkari T5	WinWinD	1000	2296
Riutunkari T6	WinWinD	1000	2241
Kirstiinankaupunki 1	WinWinD	1000	2663
Kristiinankaupunki 2	WinWinD	1000	2633
Kristiinankaupunki 3	WinWinD	1000	2559
Olkiluoto TU-1	WinWinD	1000	1605
Vihreäsaari T1	WinWinD	1000	1635
Fränsviken 1	WinWinD	1000	2148
Hilskansaari	WinWinD	1000	2689

Lähde: VTT : Production statistics of wind energy in Finland
(12/2008)

Kokonaismäärä	79	kpl
Kokonaiskapasiteetti	48815	kW
Vuosituotanto	91212	MWh

LIITE B VERKKOYHTIÖKYSELY

Alla on työn yhteydessä tehty kysely pienimuotoisen tuotannon verkkoon liittämistä Suomen verkkoyhtiöiltä. Kysely tehtiin huhtikuussa 2009.

Mikrotuotannon liittäminen jakeluverkkoon

Energiateollisuus ry on tekemässä selvitystä pienimuotoisen sähköntuotannon liittämistä yleiseen sähkönjakeluverkkoon. Tavoitteena on laatia ohjeistus mikrotuotannon verkkoon liittämisen edellytyksistä.

Energiateollisuus ry tarvitsee selvitystä varten tietoa siitä millaista pienimuotoista sähköntuotantoa on markkinoilla. Käsiteltäviä tuotantomuotoja ovat tuulivoima, vesivoima, aurinkovoima, mikro-CHP sekä erilaiset biopolttolaitokset.

Tarvitsemme verkkoyhtiöiltä tietoa jakeluverkkoonne liitetystä pienimuotoisesta tuotannosta.

Toivomme, että täytätte taulukon ja vastaatte alla oleviin kysymyksiin 13.4. mennessä.

	tuulivoima	vesivoima	Biovoima-laitokset	mikro-CHP	Aurinkovoima	muut
<5kW	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?
5-100kW	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?
100-500kW	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?
500kW-1MW	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?	kpl?

Kaipaamme tietoa myös seuraavista asioista:

- 1) Minkä kokoiset pienlaitokset toimivat markkinaehtoisesti ja minkä kokoisille ei enää löydy sähkön ostajaa, mutta saavat silti syöttää verkkoon (häviöihin)?
- 2) Missä määrin yhtiöllenne on tullut kyselyitä mahdollisuudesta liittää verkkoon mikrotuotantoa?

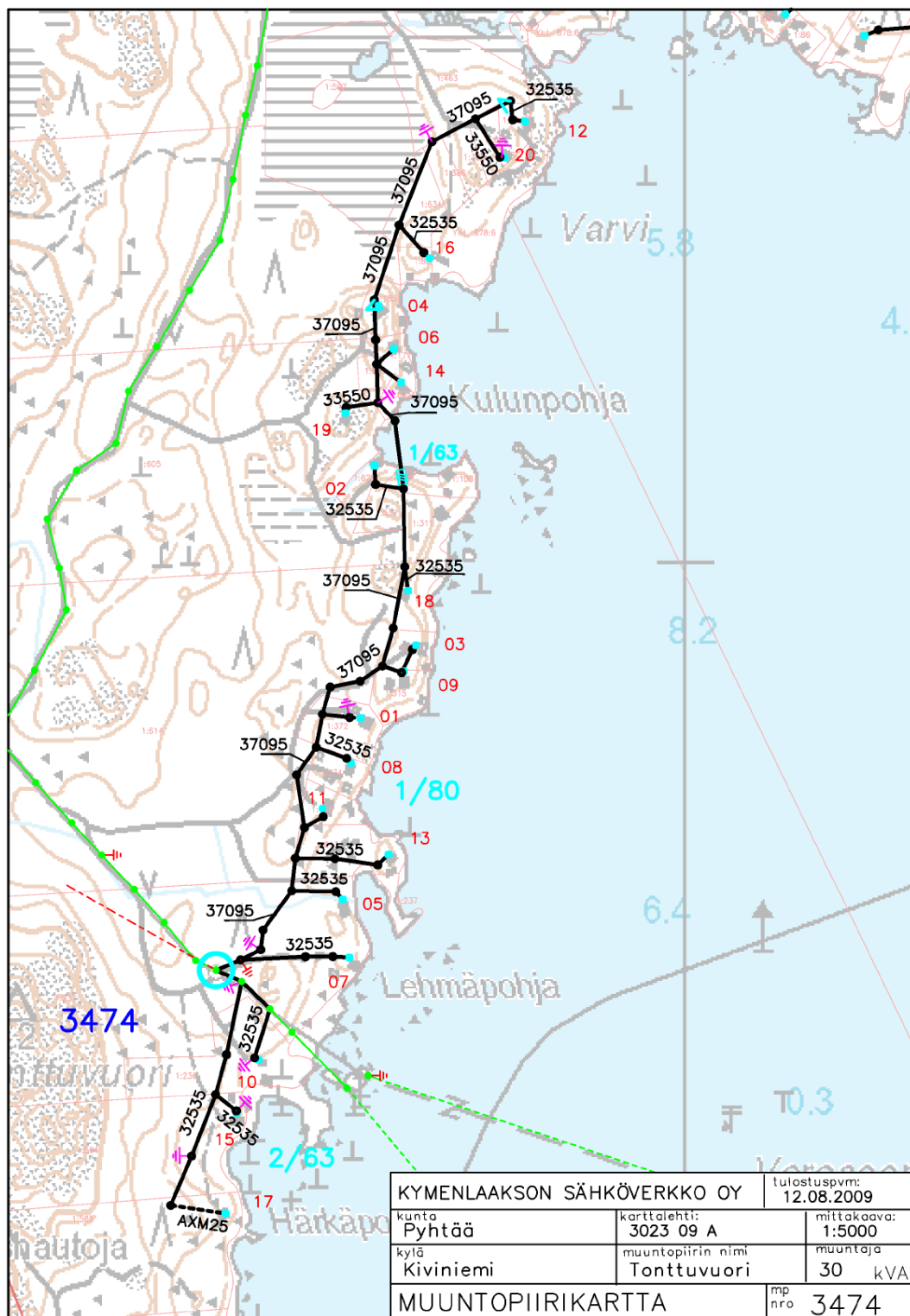
Kiitämme teitä paljon vastauksistanne. Kertokaa vapaasti myös, jos mieleenne tulee joitain muita asioita, joita kyseisessä selvityksessä tulisi mielestänne ottaa huomioon. Lisätietoja saa tarvittaessa allekirjoittaneelta.

Ystävällisin terveisin
Ina Sandström

Kyselyyn vastasi 43 kappaletta Suomen 89 verkonhaltijasta eli noin 48 % Suomen verkonhaltijoista. Vastanneet verkonhaltijat on listattu alla:

Ekenäs Energi	Tammisaaren Energia	Oulun Energia	Siirto ja Jakelu
Enontekiön Sähkö		Oulun Seudun Sähkö	Verkkopalvelut
Forssan Verkkopalvelut		Outokummun Energia	
Fortum Distribution		Parikkalan Valo	
Helen Sähköverkko		Pietarsaaren Energialaitos	
Hiirikosken Energia		PKS Sähkönsiirto	
Iin Energia		Pori Energia	Sähköverkot
Iitin Sähkö		Porvoon Sähköverkko	
Ilmailulaitus - Finavia, Energia ja Vesi		Rantakairan Sähkö	
Imatran Seudun Sähkö		Rovakaira	
JE-Siirto		Rovaniemen Verkko	
Keminmaan Energia		Sallila Sähkönsiirto	
Keuruun Sähkö		Satapirkan Sähkö	
Koillis-Satakunnan sähkö		Savon Voima Verkko	
Kokemäen Sähkö		Tornion Energia	
KSS Verkko		Turku Energia	Sähköverkot
Kuopion Energia		Vakka-Suomen Voima	
Lammaisten Energia		Valkeakosken Energia	
Muonion Sähköosuuskunta		Vattenfall Verkko	
Mäntsälän Sähkö		Verkko Korpela	
Naantalın Energia		Ålands Elandelslag	
Nurmijärven Sähkö			

LIITE C TONTTUVUOREN MUUNTOPIIRI



P J - TEHONJAKOLASKENTA - MITOITUS

MUUNTAMO: 3474
 NIMI: TONTTUVOURI
 Muuntaja: 1084_JM
 Muuntamon osoite: KIVINIEMI
 Muuntamon rakenne: 2-PYLMUJODSUUN.EROTIN.LÄPIM.
 Valmistuspäivämäärä: 14.12.2006
 Muuntajan valmistaja: STR
 Muuntajan mitoitusaste (kVA): 30
 Muuntajan valmistusvuosi: 1979
 Väliottokytkimen asento: EI VÄLIOTTOKYTKINTÄ
 Tähtipisteen maadoittamistapa: Suoraan maadoitettu
 Muuntajan tyhjäkäyntiteho (kW) ja -energia (kWh): 0.140 1226

KIRJASTO : KSOYKAYRAI
 TILASTOLLINEN VARMUUS : 95 % (1.645)
 KUORMITUKSEN KASVUKERROIN : 1.00
 VAKIOLASKENTÄJÄNNITE (V) : 235
 ULKOLÄMPÖTILAN VALINTA : Vakio 2-viikkojaksoittain
 LASKETUT TUNNIT : Huipputunnit
 LÄMPÖTILAKORJAUS : Sener

Huipun käyttöaika (t): 1982
 Häviöhuipun käyttöaika (t): 1218

YHTEENVETO (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)

Kohde	Tunnus	K-aste (%)	Umin (V)	Uh (%)	Ph (kW)	Eh (kWh)	K(Ph) ()	K(Eh) ()	K(yht) ()
1 - Verkkko	2 1084_JM	42	232.1	1.3	0.195	453	9	34	43
		14	229.2	2.5	0.080	97	4	7	11

TULOKSET P J - LÄHDÖILLE (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)

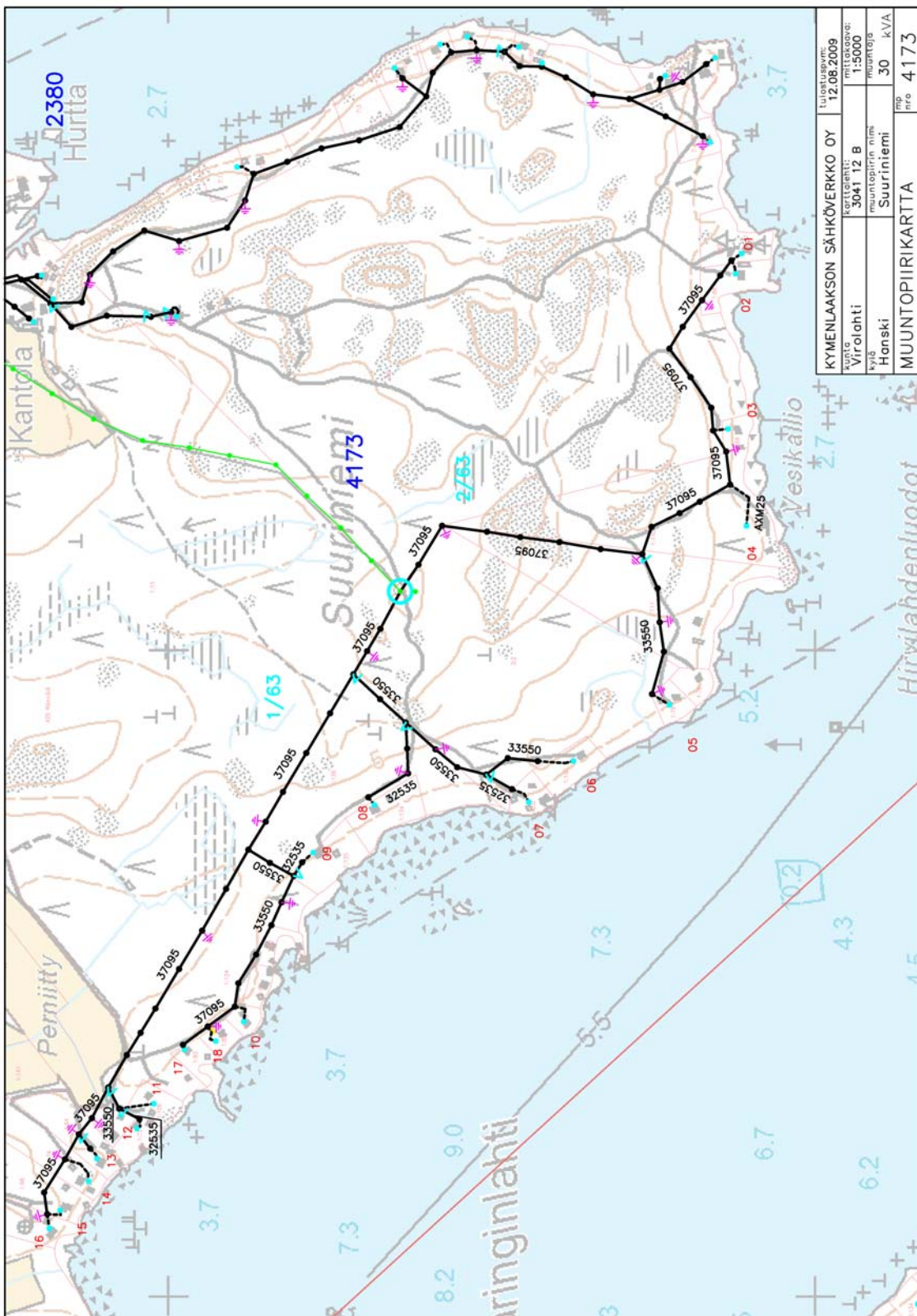
Lähdön tunnus	Lähdön tunnus	Jakokeskus/ Rinn.lähtö	Sulake (A)	Imax (A)	Pmax (kW)	Kul lkm	Energia (MWh)	A (%)	B (%)	C (%)
1084_JM	1084_JM		0	18	12	20	23.9			
1	LIIMATAINEN		80	9	6	17	14.6			
2	VUORIMAA		63	13	8	3	9.3			

JOHTOPITUUDET	Avo	Riippu	Maa	Vesi	AMKA	Muu	Elmäär	Summa
LÄHTÖ: 1	0	1810	37	0	0	5	0	1852
LÄHTÖ: 2	0	412	61	0	0	0	0	473
KOKO VERKKO:	0	2222	98	0	0	5	0	2325

TULOKSET P J - JOHTO - OSILLE

Alkusolmun tunnus	Lopposolmun tunnus	Johtolaji	Pit (m)	Etäis (m)	Sulake (A)	K-aste (A)	Ph (kW/km)	Aika (h)	JÄNNITE U (V)	Uh (%)	Aika (h)	Uhk (%/10kW)	HUOM A B C D E F G H
LÄHTÖ: 1084_JM													
VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET													
2	3	MMO-KISKO-OS	1	1	18	2	0.0	335	232	1.3	335	1.2	
3	4	AXM95*	1	2	18	8	0.1	335	232	1.3	335	1.2	E
LÄHTÖ: 1													
4	5	37095	28	30	80	9	5	0.1	335	232	1.3	335	1.3
5	14 07	32535	117	147	25	1	1	0.0	838	232	1.3	335	2.2
5	15	37095	97	127	80	9	5	0.0	335	232	1.4	335	1.6
15	16 05	32535	58	185	25	1	1	0.0	838	232	1.4	335	2.1
15	17	37095	36	163	80	8	5	0.0	335	232	1.4	335	1.7
17	18 13	32535	105	268	25	0	1	0.0	838	232	1.4	335	2.6
17	19	37095	34	197	80	8	5	0.0	335	232	1.5	335	1.8
19	20	32535	23	220	25	3	3	0.0	838	232	1.5	335	2.0
19	21	37095	93	290	80	7	4	0.0	335	231	1.5	335	2.1
21	22 08	32535	41	331	25	0	0	0.0	838	231	1.5	335	2.5
21	23	37095	36	326	80	7	4	0.0	335	231	1.6	335	2.2
23	24	32535	29	355	25	0	0	0.0	838	231	1.6	335	2.5
23	25	37095	30	356	80	7	4	0.0	335	231	1.6	335	2.3
25	26	37095	61	417	80	7	4	0.0	335	231	1.6	335	2.5
26	27	32535	21	438	80	0	0	0.0	838	231	1.6	335	2.7
26	28	37095	109	526	80	7	4	0.0	335	231	1.7	335	2.9
28	29 18	32535*	26	552	25	0	0	0.0	838	231	1.7	335	3.1
28	30	37095	83	609	80	7	4	0.0	335	231	1.8	335	3.1
30	31 02	32535	50	659	25	0	0	0.0	838	231	1.8	335	3.6
30	32	37095	100	709	63	7	4	0.0	335	231	1.8	335	3.5
32	33	33550*	34	743	25	0	0	0.0	838	231	1.8	335	3.7
32	34	37095	41	750	63	7	4	0.0	335	231	1.9	335	3.6
34	35 06	32535	24	774	25	0	0	0.0	838	231	1.9	335	3.8
34	36 14	32535	32	782	25	1	1	0.0	838	231	1.9	335	3.9
34	37	37095	69	819	63	7	4	0.0	335	231	1.9	335	3.8
37	38 04	32535	7	826	25	6	7	0.0	335	230	1.9	335	3.9
37	39	37095*	85	904	63	2	1	0.0	838	230	1.9	335	4.1
39	40	32535*	39	943	25	0	0	0.0	838	230	1.9	335	4.4
39	41	37095*	149	1053	63	2	1	0.0	838	230	1.9	335	4.6
41	42	37095*	42	1095	25	2	1	0.0	838	230	2.0	335	4.7
41	43	33550*	51	1104	25	0	0	0.0	838	230	1.9	335	4.9
43	44 20	AMC2516*	2	1106	25	0	0	0.0	838	230	1.9	335	4.9
42	45 12	32535*	33	1128	25	2	2	0.0	838	230	2.0	335	5.0
40	46 16	MCM16*	8	951	25	0	0	0.0	838	230	1.9	335	4.5
33	47 19	AXM25*	6	749	25	0	0	0.0	838	231	1.8	335	3.7
27	48 09	MCM10*	2	440	25	0	0	0.0	838	231	1.6	335	2.7
27	49	32535	27	465	25	0	0	0.0	838	231	1.6	335	2.9
49	50 03	MMJ710*	5	470	25	0	0	0.0	838	231	1.6	335	3.0
24	51 01	MCM10*	11	366	25	0	0	0.0	838	231	1.6	335	2.6
20	52 11	MCM10*	8	228	25	3	4	0.0	838	232	1.5	335	2.1

LIITE D SUURINIEMEN MUUNTOPIIRI



P J - T E H O N J A K O L A S K E N T A - M I T O I T U S

M U U N T A M O : 4173
N I M I : SUURINIEMI
Muuntaja: 1843_JM
Muuntamon osoite:
Muuntamon rakenne: 2-FYLMUU.JODSUUN.EROTIN.FÄÄTT.
Valmistuspäivämäärä: 23.11.2000
Muuntajan valmistaja: SIR
Muuntajan mitoitusaste (kVA): 30
Muuntajan valmistusvuosi: 1972
Väliottokytkimen asento: E1 määriteltä
Tähtipisteen maadoittamistapa: Suoraan maadoitettu
Muuntajan tyhjäkäyntiteho (kW) ja -energia (kWh): 0.135 1183

KIRJASTO : KSOYKAYRAI
TILASTOLLINEN VARMOUS : 95 % (1.645)
KUORMITUKSEN KASVUKERROIN : 1.00
VAKIOLASKENTAJÄNNITE (V) : 235
ULKOLÄMPÖTILAN VALINIA : Vakio 2-viikkojaksoittain
LASKETUT TUNNIT : Huipputunnit
LÄMPÖTILAKORJAUS : Sener

Huipun käyttöaika (t): 2077
Häviöhuipun käyttöaika (t): 1230

Y H T E E N V E I O (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)

Kohde	Tunnus	K-aste (%)	Umin (V)	Uh (%)	Ph (kW)	Eh (kWh)	K (Ph) ()	K (Eh) ()	K (yht) ()
1 - 2	1843_JM	96	227.3	3.3	0.573	900	28	68	96
Verkko		19	218.6	7.0	0.527	648	26	49	75

T U L O K S E T P J - L Ä H D Ö I L L E (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)

Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Jakokeskus/ Rinn.lähtö	Sulake (A)	Imax (A)	Pmax (kW)	Kul lkm	Energia (MWh)	A (%)	B (%)	C (%)
1843_JM	1843_JM		0	42	27	18	57.0			
1	LÄNSIRANTA		63	34	22	13	40.8			
2	ETELÄRANTA		63	16	10	5	16.2			

JOHTOPITUUDET	Avo Riippu	Maa	Vesi	AMKA	Muu Eimäär	Summa
LÄHTÖ: 1	0	2181	393	0	0	2574
LÄHTÖ: 2	0	1241	172	0	0	1413
KOKO VERKKO:	0	3422	565	0	0	3987

T U L O K S E T P J - J O H T O - O S I L L E

Alkusolmun tunnus		Loppusolmun tunnus	Johtolaji	Fit (m)	Etäis (m)	Sulake (A)	I K-aste (A)	Ph (kW/km)	Aika (V)	Uh (%)	Aika (%/10kW)	Uhk	HUOM						
													A	B	C	D	E	F	G
L Ä H T Ö : 1843_JM																			
VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET																			
2	3		MMO-KISKO-OS	1	1		42	4	0.0	135	227	3.3	135	1.4					
3	4		AXM95*	1	2		42	19	0.9	135	227	3.3	135	1.4			E		
L Ä H T Ö : 1																			
4	6		37095*	147	149	63	34	19	0.8	335	226	3.9	135	1.9					
6	7		33550*	110	259	63	10	9	0.1	135	225	4.2	135	2.6					
6	8		37095*	316	465	63	29	16	0.5	335	223	5.2	335	3.0					
8	9		37095*	426	891	63	23	13	0.3	335	220	6.5	335	4.6					
8	10		33550*	81	546	63	10	9	0.1	335	222	5.4	335	3.6					
10	11		32535*	24	570	25	5	5	0.0	335	222	5.4	335	3.8				G	
10	12		33550*	223	769	63	8	7	0.0	335	222	5.7	335	5.1					
12	13	10	AXM25*	36	805	25	8	8	0.1	335	222	5.7	335	5.4				G	
12	14		37095*	51	820	63	0	0	0.0	838	222	5.7	335	5.2					
14	15		37095*	47	867	25	0	0	0.0	838	222	5.7	335	5.4				G	
14	16	18	AXM25*	31	851	25	0	0	0.0	838	222	5.7	335	5.5				G	
15	17	17	AXM25*	7	874	25	0	0	0.0	838	222	5.7	335	5.5				G	
11	18	09	AXM25*	22	592	25	5	5	0.0	335	222	5.4	335	4.0				G	
9	19		37095*	85	976	63	21	11	0.2	335	219	6.7	335	4.9					
9	20		33550*	36	927	63	6	5	0.0	134	220	6.6	335	4.9					
20	21		32535*	35	962	25	0	0	0.0	838	220	6.6	335	5.2				G	
20	22	11	AXM25*	53	980	25	6	6	0.0	134	219	6.6	335	5.4				G	
21	23	12	AXM25*	17	979	25	0	0	0.0	838	220	6.6	335	5.3				G	
19	24		32535*	28	1004	25	8	9	0.1	335	219	6.7	335	5.2				G	
19	25		37095*	44	1020	63	17	9	0.1	335	219	6.8	335	5.1					
25	26		37095*	94	1114	63	16	9	0.1	335	219	6.9	335	5.4					
25	27	14	AXM25*	55	1075	25	3	3	0.0	838	219	6.8	335	5.6				G	
26	28	15	AXM25*	27	1141	25	16	16	0.2	335	219	7.0	335	5.7				G	
26	29	16	AXM25*	22	1136	25	0	0	0.0	838	219	6.9	335	5.6				G	
24	30	13	AXM25*	19	1023	25	8	8	0.1	335	219	6.8	335	5.4				G	
7	31		32535*	150	409	25	5	6	0.0	335	225	4.3	335	3.9				G	
7	32		33550*	151	410	63	7	6	0.0	134	225	4.4	135	3.6					
32	33		32535*	45	455	25	7	8	0.1	134	224	4.5	135	4.0				G	
32	34		33550*	88	498	25	1	0	0.0	838	225	4.4	135	4.2				G	
34	35	06	AXM25*	55	553	25	1	1	0.0	838	225	4.4	135	4.6				G	
33	36	07	AXM25*	34	489	25	7	7	0.1	134	224	4.6	135	4.3				G	
31	37	08	AXM25*	15	424	25	5	5	0.0	335	225	4.4	335	4.1				G	
L Ä H T Ö : 2																			
4	5		37095*	432	434	63	16	9	0.1	134	225	4.2	135	2.9					
4	38		33550*	224	658	25	15	13	0.2	134	223	5.0	135	4.4				G	
5	39		37095*	182	616	63	1	0	0.0	838	225	4.2	135	3.5					
39	40		37095*	89	705	63	1	0	0.0	838	225	4.2	135	3.8					
39	41	04	AXM25*	79	695	25	0	0	0.0	838	225	4.2	135	4.2				G	
40	42		37095*	314	1019	63	0	0	0.0	838	225	4.2	135	4.8					
40	43	03	AXM25*	23	728	25	0	0	0.0	838	225	4.2	135	4.0				G	

calc_result.txt															
42	44	01	AXM25*	18	1037	25	0	0	0.0	838	225	4.2	135	5.0	G
42	45	02	AXM25*	21	1040	25	1	1	0.0	838	225	4.2	135	5.0	G
38	46	05	AXM25*	31	689	25	15	15	0.3	134	223	5.1	135	4.7	G

Huomautuskoodien selitykset

A - I > verkon sulake	E - Sulake > johdon sallittu ylikuormitussuoja
B - I > liittymän sulake	F - Rinnankytketty johto-osuus
C - Epäselektiivinen sulakekoko	G - Liittymisjohto
D - Rinnankytkennän rakennevirhe	H - I > taloudellinen rajavirta

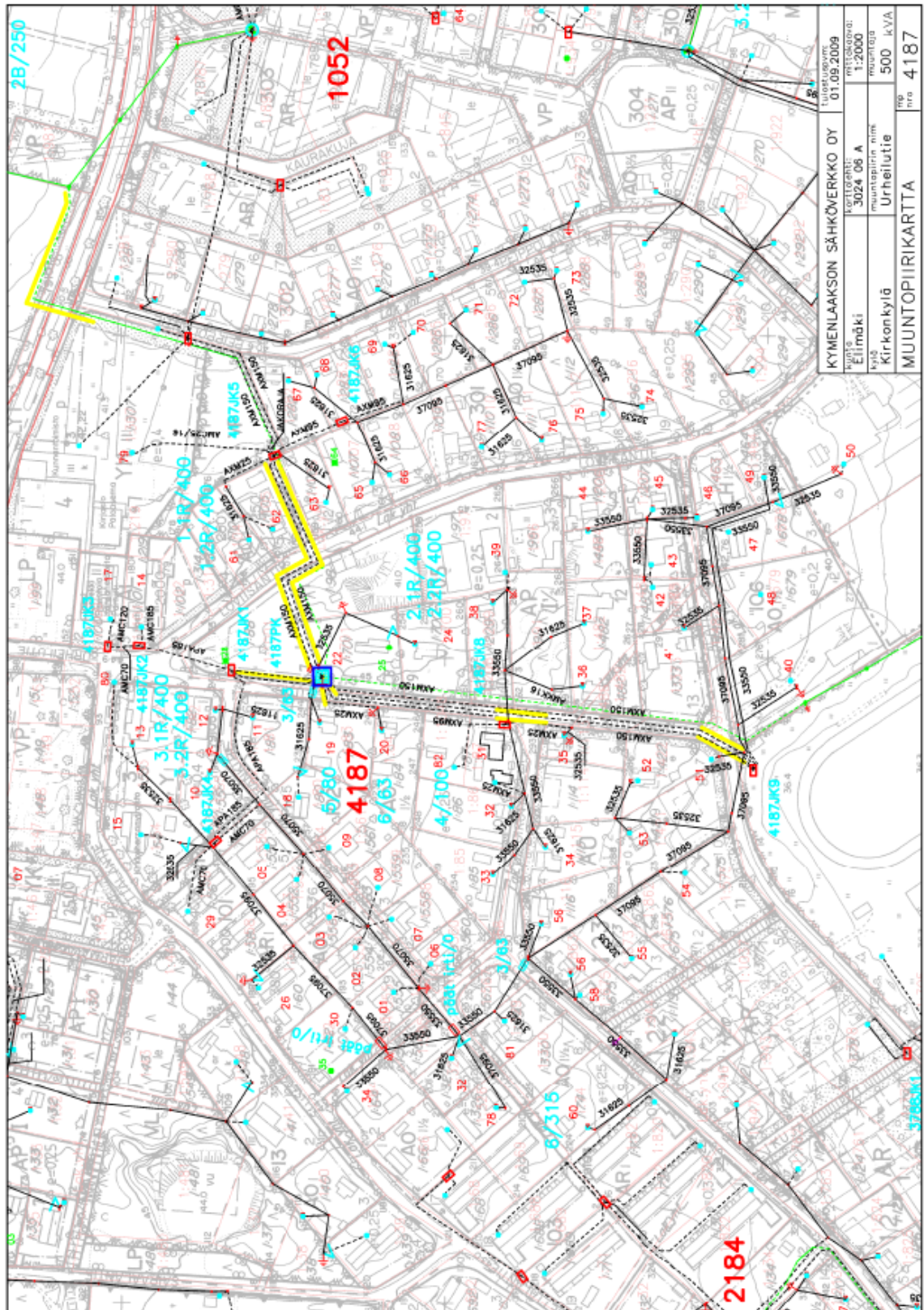
Muuntamo 4173, muuntajan tiedot:

Jakelumuuntaja, 127 - JAKELUMUUNTAJA

Liitteet	Huomautus	Kunnossapitotiedot +	Mittauserä
Yleistiedot	Tekniset tiedot	Sähköiset tiedot	Sijainti
Mitoitusteho (kVA)	30.000	Välittökytkin	
Ensio puolen mitoitusjännite (V)	20000	Asento	Ei määritetty
Toisio puolen mitoitusjännite (V)	400	Asentojen lukumäärä	5
Laskentajännite (V)	0	Portaan koko (%)	2.500
Kuormitushäviöt (W)	900	Kyt kentäryhmä	YZN11
Oikosulkuresistanssi (%)	3.000	Tyhjäkäyntivirta (%)	4.000
Oikosulkuimpedanssi (%)	4.300	Nollaresistanssi (%)	0.000
Tyhjäkäyntihäviöt P0 (W)	135	Nollaimpedanssi (%)	0.000
Tyhjäkäyntihäviöt Q0 (var)	0		

OK Hyväksy Peruuta Ohje

LIITE E URHEILUTIEN MUUNTOPIIRI



P J - IEHONJAKOLASKENTA - MITOITUS

MUUNTAMO: 4187
 NIMI: URHEILUTIE
 Muuntaja: 4707_JM
 Muuntamon osoite:
 Muuntamon rakenne: PUISTOMU.EROTIN,LÄPIM.
 Valmistuspäivämäärä: 02.08.2001
 Muuntajan valmistaja: ABB
 Muuntajan mitoitusaste (kVA): 500
 Muuntajan valmistusvuosi: 2000
 Valiottokytken asentaja: Ei määritetty
 Tähtipisteen maadoittamistapa: Suoraan maadoitettu
 Muuntajan tyhjäkäyntiteho (kW) ja -energia (kWh): 0.762 6675

KIRJASTO : KSOYKAYRAT
 TIILASTOLLINEN VARMUUS : 95 % (1.645)
 KUORMITUKSEN KASVUKERROIN : 1.00
 VAKIOLASKENTAJÄNNITE (V) : 235
 ULKOLÄMPÖTILAN VALINTA : Vakio 2-viikkojaksoittain
 LASKETUT TUNNIT : Huipputunnit
 LÄMPÖTILAKORJAUS : Sener

Huipun käyttöaika (t): 3276
 Häviöhuipun käyttöaika (t): 1799

Y H T I E N V E I T O (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)

Kohde	Tunnus	K-aste (%)	Umin (V)	Uh (%)	Ph (kW)	Eh (kWh)	K(Ph) ()	K(Eh) ()	K(yht) ()
1 - 2	4707_JM	67	231.4	1.5	2.677	7055	135	533	668
Verkko		126	219.4	6.6	6.549	11783	330	891	1221

T U L O K S E T P J - L Ä H D Ö I L L E (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)

Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Jakokeskus/ Rinn.lähtö	Sulake (A)	Imax (A)	Pmax (kW)	Kul lkm	Energia (MWh)	A (%)	B (%)	C (%)
4707_JM	4707_JM		0	481	316	142	1034.7		126	
1	JK5	4187FK	400	93	61	16	165.5			
1.1R	JK5	4187FK	400	47	31	16	165.5			
1.2R	JK5	1.1R	400	47	31	16	165.5			
2	JK9	4187FK	400	149	95	26	297.1			
2.1R	JK9	4187FK	400	74	48	26	297.1			
2.2R	JK9	2.1R	400	74	48	26	297.1			
3	JK1	4187FK	400	190	125	84	372.2			
3.2R	JK1	4187FK	400	95	62	84	372.2			
3.1R	JK1	3.2R	400	95	62	84	372.2			
4	JK8	4187FK	100	71	46	11	150.0			
5	NOUSU PYLV.KUL.18,19...	4187FK	80	31	20	4	37.9			
6	NOUSU PYLV. KUL.20	4187FK	63	12	8	1	12.1			

JOHTOPIIUDEET	Avo Riippu	Maa	Vesi	AMKA	Muu Eimäär	Summa
LÄHTÖ: 1.1R	0	635	579	0	0	1214
LÄHTÖ: 2.1R	0	1451	654	0	16	2121
LÄHTÖ: 3.2R	0	587	711	0	0	1298
LÄHTÖ: 4	0	335	252	0	0	587
LÄHTÖ: 5	0	166	30	0	4	200
LÄHTÖ: 6	0	14	47	0	0	61
KOKO VERKKO:	0	3188	2273	0	20	5481

T U L O K S E T P J - J O H T O - O S I L L E

Alkusalun tunnus	Loppusalun tunnus	Johtolaji	Fit (m)	Etäis (m)	Sulake (A)	K-aste (A)	Ph (kW)	Aika (km)	JÄNNITE U (V)	Uh Aika (%)	Ulk Aika (%)	Ulk Aika (%)	Ulk Aika (%)	Ulk Aika (%)	Ulk Aika (%)	Ulk Aika (%)	Ulk Aika (%)	Ulk Aika (%)	Ulk Aika (%)
LÄHTÖ: 4707_JM																			
VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET																			
2	3	MMO-KISKO-OS	1	1	481	48	0.6	135	231	1.5	135	0.1							
3	4	4187FK MA300A*	1	2	481	126	64.3	135	231	1.6	135	0.1							
LÄHTÖ: 1.1R																			
LÄHTÖ: 1.2R																			
4	4187FK	5	4187JK5	AXM150*	158	160	200	47	16	0.9	135	230	2.2	135	0.2				F
4	4187FK	5	4187JK5	AXM150*	160	160	200	47	16	0.9	135	230	2.2	135	0.2				F
5	4187JK5	121	4187JK6	AXM95*	47	207	125	81	37	3.9	135	229	2.7	135	0.3				
5	4187JK5	122		AXM25*	38	198	63	14	14	0.3	2634	229	2.4	135	0.5				
5	4187JK5	123		AXM25*	3	163	25	11	11	0.2	340	230	2.2	135	0.2				G
5	4187JK5	124	79	AMC2516*	90	250	25	0	0	0.0	0	230	2.2	135	0.9				G
123	125			31625	36	199	25	11	16	0.3	340	229	2.4	135	0.7				G
125	126	63		31625	8	207	25	11	16	0.3	340	229	2.4	135	0.8				G
122	127			31625	21	219	63	14	20	0.4	2634	229	2.5	135	0.8				
127	128	62		MCM10*	19	238	25	12	19	0.3	340	229	2.6	135	1.0				G
127	129	61		31625	14	233	25	8	11	0.1	2534	229	2.5	135	1.0				G
121	4187JK6	130		AXM50*	9	216	63	26	17	0.6	135	229	2.7	135	0.3				
121	4187JK6	131		AXM95*	40	247	63	62	28	2.1	135	228	2.9	135	0.4				
131	132			37095	29	276	63	0	0	0.0	0	228	2.9	135	0.4				
131	133			31625	35	282	63	9	13	0.2	2534	228	3.1	135	0.9				
131	134			37095	60	307	63	57	32	2.2	135	227	3.5	135	0.6				
134	135			37095	50	357	63	47	26	1.4	135	226	3.8	135	0.8				
134	136	71		31625	49	356	25	10	14	0.2	2534	226	3.7	135	1.3				G
134	137			31625	35	342	63	13	18	0.3	335	226	3.7	135	1.1				
137	138	76		31625	21	363	25	7	10	0.1	335	226	3.7	135	1.4				G
137	139	77		31625	28	370	25	9	12	0.1	335	226	3.7	135	1.5				G
135	140			32535	33	390	63	28	31	1.2	134	225	4.2	135	1.1				
135	141			32535	47	404	63	26	28	0.9	135	225	4.3	135	1.2				
141	142	74		32535	24	428	25	23	26	0.7	134	225	4.4	135	1.4				G
141	143	75		32535	9	413	25	6	7	0.0	2534	225	4.3	135	1.3				G

calc_result.txt																
140	144	72	32535	18	408	25	22	25	0.6	134	225	4.3	135	1.2		
140	145	73	32535	5	395	25	11	12	0.1	134	225	4.2	135	1.1	G	
133	146	70	KULXP	15	297	25	5	3	0.0	2534	228	3.1	135	0.9	G	
133	147	69	31625	5	287	35	4	6	0.1	2101	228	3.1	135	0.9	G	
130	148		31625	27	243	63	20	28	1.0	134	228	3.0	135	0.7		
130	149		31625	34	250	63	12	17	0.3	2534	228	2.9	135	0.8		
149	150	68	31625	8	258	25	7	10	0.1	2534	228	2.9	135	0.9	G	
149	151	67	31625	16	266	25	8	11	0.1	2534	228	2.9	135	1.0	G	
148	152	66	31625	11	254	25	11	15	0.2	134	228	3.1	135	0.8	G	
148	153	65	31625*	12	255	25	12	18	0.3	134	228	3.1	135	0.9	G	
L A H T Ö : 2.1R																
L A H T Ö : 2.2R																
4	4187FK	7	4187JK9	AXM150*	280	282	200	74	26	2.5	135	227	3.5	135	0.3	F
4	4187FK	7	4187JK9	AXM150*	280	282	200	74	26	2.5	135	227	3.5	135	0.3	F
7	4187JK9	65		AXM95*	12	294	100	101	46	6.4	135	227	3.6	135	0.3	A
7	4187JK9	66		AXM95*	14	296	100	43	20	0.9	135	227	3.5	135	0.3	
7	4187JK9	67		AXM95*	15	297	63	22	10	0.5	2406	227	3.5	135	0.3	G
67	68			33550*	176	473	63	22	19	1.2	2406	225	4.4	135	1.5	G
68	69	49		33550	20	493	63	22	19	1.2	2406	224	4.5	135	1.6	G
66	70			37095*	16	312	100	43	24	1.3	135	226	3.6	135	0.4	
70	71			32535	43	355	25	9	10	0.1	134	226	3.7	135	0.7	G
70	72			37095	75	387	100	38	21	0.9	135	226	4.0	135	0.6	
72	73	41		32535	25	412	25	15	17	0.3	134	225	4.2	135	0.8	G
72	74			37095	49	436	100	28	15	0.5	135	225	4.2	135	0.8	
74	75	47		KULXP	13	449	25	6	5	0.0	2534	225	4.2	135	0.8	G
74	76			37095	43	479	25	3	2	0.0	2534	225	4.2	135	0.9	G
74	77			33550	37	473	100	24	21	0.6	135	224	4.4	135	1.0	
77	78	46		32535	30	503	25	5	6	0.0	2534	224	4.5	135	1.3	G
77	79	45		32535	6	479	25	14	15	0.2	134	225	4.5	135	1.1	G
77	80	44		33550	37	510	25	9	8	0.1	2534	224	4.5	135	1.3	G
77	81			33550	36	509	100	7	6	0.0	335	224	4.5	135	1.3	
81	82	43		KULXP	10	519	25	3	3	0.0	2534	224	4.5	135	1.3	G
81	83	42		KULXP	8	517	25	6	4	0.0	335	224	4.5	135	1.3	G
76	84			32535*	45	524	25	3	3	0.0	2534	225	4.3	135	1.3	G
84	85	50		MMJ10*	6	530	25	3	5	0.0	2534	225	4.3	135	1.4	G
71	86	40		MMJ10*	5	360	25	9	14	0.1	134	226	3.8	135	0.8	G
65	87			32535	15	309	35	12	13	0.5	2401	226	3.7	135	0.5	G
65	88			37095	49	343	100	89	50	6.4	135	225	4.3	135	0.5	
88	89			32535	70	413	100	32	35	1.5	134	223	5.2	135	1.1	E
88	90			37095	48	391	100	66	37	3.3	135	224	4.8	135	0.7	
90	91			37095	48	439	100	63	35	2.9	135	223	5.2	135	0.8	
90	92	54		KULXP	15	406	25	9	6	0.0	340	224	4.8	135	0.7	G
91	93	55		32535	34	473	25	8	9	0.1	335	223	5.3	135	1.1	G
91	94			37095	49	488	100	60	33	2.5	135	222	5.7	135	1.0	
94	95			33550*	38	526	63	29	25	0.9	135	221	6.0	135	1.3	
94	96	56		33550*	22	510	25	13	12	0.1	2534	222	5.7	135	1.1	G
94	97			33550	38	526	100	33	28	1.3	135	221	6.0	135	1.3	
97	98	58		KULXP	3	529	50	18	13	0.2	335	221	6.0	135	1.3	G
97	99	56		31625	15	541	25	10	14	0.2	340	221	6.1	135	1.5	G
97	100			33550	75	601	100	16	14	0.3	134	220	6.3	135	1.8	
100	101	60		31625	59	660	25	11	16	0.2	134	219	6.6	135	2.6	G
100	102	59		31625	28	629	25	8	12	0.1	134	220	6.4	135	2.2	G
95	103			33550	26	552	63	26	22	0.7	135	221	6.1	135	1.4	
95	104	81		31625	8	534	25	7	10	0.1	335	221	6.0	135	1.4	G
103	105			37095	53	605	25	5	3	0.0	2534	221	6.1	135	1.6	G
103	106	32		31625	14	566	35	1	2	0.0	2101	221	6.1	135	1.6	G
103	107			33550	81	633	25	23	20	0.5	134	220	6.5	135	2.0	G
107	108	34		33550	3	636	25	23	20	0.5	134	220	6.6	135	2.0	G
105	109	78		31625*	5	610	25	5	7	0.0	2534	221	6.1	135	1.7	G
89	110			32535*	23	436	25	11	12	0.2	134	223	5.3	135	1.3	G
89	111	53		32535	12	425	25	26	28	0.8	134	223	5.3	135	1.2	B
110	112	52		KULXP	4	440	25	11	8	0.1	134	223	5.3	135	1.3	G
87	113	51		MMJ25*	5	314	35	12	11	0.3	2401	226	3.7	135	0.5	G
L A H T Ö : 3.1R																
L A H T Ö : 3.2R																
4	4187FK	10	4187JK1	AXM150*	58	60	200	95	33	4.4	2634	230	2.0	135	0.1	F
4	4187FK	10	4187JK1	AXM150*	56	60	200	95	33	4.6	2634	230	2.0	135	0.1	F
10	4187JK1	11	4187JK2	APA185	59	119	250	65	20	1.5	2534	230	2.2	135	0.2	
10	4187JK1	12	4187JK4	APA185	131	191	250	141	44	7.0	135	227	3.4	135	0.3	
12	4187JK4	13		AMC70	35	226	100	70	45	3.8	135	226	3.7	135	0.4	
12	4187JK4	14	29	AMC70	49	240	125	47	30	1.7	335	226	3.7	135	0.4	G
12	4187JK4	15		AMC70	3	194	125	47	30	1.8	2634	227	3.4	135	0.3	
15	16			32535	20	214	25	5	5	0.1	2534	227	3.4	135	0.5	G
15	17			32535	68	262	125	10	11	0.3	203	227	3.5	135	0.9	
15	18			37095	78	272	125	42	23	1.3	2635	226	3.9	135	0.5	E
18	19			37095	52	324	125	37	20	0.9	2634	225	4.1	135	0.7	
18	20			32535	33	305	63	10	11	0.1	236	226	3.9	135	0.8	G
20	21	26		AXM25*	6	311	63	10	10	0.1	236	226	3.9	135	0.9	G
19	22	30		KULXS	13	337	80	37	17	0.7	2634	225	4.2	135	0.8	G
19	23			37095	33	357	125	0	0	0.0	0	225	4.1	135	0.7	
17	24	13		32535	14	276	35	10	11	0.3	203	227	3.5	135	1.0	G
17	25	80		AXM25*	59	321	25	0	0	0.0	0	227	3.5	135	1.3	G
16	26	15		AXM25*	25	239	25	5	5	0.1	2534	227	3.4	135	0.7	G
13	27			35070	40	266	100	22	16	0.5	134	226	3.9	135	0.6	
13	28			35070	40	266	100	54	39	3.0	135	225	4.2	135	0.6	
28	29	05		KULXP	23	289	35	4	3	0.0	2534	225	4.2	135	0.7	G
28	30	09		KULXP	16	282	25	9	7	0.0	335	225	4.2	135	0.6	
28	31	04		KULXP	17	283	25	12	9	0.1	335	225	4.2	135	0.6	G
28	32			35070	60	326	100	44	31	1.8	135	224	4.8	135	0.9	
32	33	02		KULXP	15	341	25	16	12	0.1	134	224	4.8	135	0.9	G

calc_result.txt																
8	4187JK8	51	82	AMC2516*	53	179	25	13	13	0.2	134	228	3.0	135	0.8	G
50		52	35	32535	6	174	25	21	23	0.6	134	228	3.1	135	0.8	G
49		53		33550	46	175	80	39	34	2.2	140	227	3.3	135	0.7	
49		54		33550	31	160	80	18	15	0.5	135	228	2.9	135	0.6	
54		55	36	AMKK16	50	210	25	4	6	0.0	2534	228	3.0	135	1.2	G
54		56	37	31625	57	217	35	0	0	0.0	2406	228	2.9	135	1.4	G
54		57		33550	50	210	80	16	14	0.5	103	228	3.2	135	0.9	
57		58	38	33550	11	221	25	7	6	0.0	134	228	3.2	135	0.9	G
57		59	39	KULXS	11	221	63	12	5	0.1	2404	228	3.2	135	0.9	G
53		60	31	AXM25*	19	194	25	17	17	0.4	340	227	3.3	135	0.8	G
53		61	32	31625	11	186	25	16	23	0.6	340	227	3.3	135	0.8	G
53		62		33550	22	197	80	19	16	0.4	134	227	3.4	135	0.8	
62		63	33	33550	38	235	25	3	2	0.0	2101	227	3.4	135	1.0	G
62		64	34	31625	13	210	25	16	23	0.5	134	227	3.5	135	1.0	G
L Ä H T Ö : 5																
4	4187FK	6		AXM95*	18	20	80	31	14	0.4	135	231	1.6	135	0.1	
6		114		31625	48	68	25	16	23	0.6	134	230	2.2	135	0.7	G
6		115	19	32535	14	34	25	14	15	0.2	134	231	1.7	135	0.2	G
6		116		32535	20	40	63	10	12	0.1	2534	231	1.7	135	0.3	
116		117	22	MMJ10*	4	44	25	6	10	0.1	2534	231	1.7	135	0.3	G
116		118		32535	73	113	25	6	7	0.0	2534	231	1.8	135	0.9	G
118		119	24	32535	11	124	25	6	7	0.0	2534	231	1.8	135	1.0	G
114		120	18	AXM25*	12	80	25	16	16	0.4	134	230	2.2	135	0.8	G
L Ä H T Ö : 6																
4	4187FK	9		AXM25*	47	49	25	12	12	0.2	134	231	1.8	135	0.4	G
9		48	20	32535	14	63	25	12	14	0.2	134	231	1.8	135	0.6	G
Huomautuskoodien selitykset																
A - I > verkon sulake					E - Sulake > johdon sallittu ylikuormitusuus											
B - I > liittymän sulake					F - Rinnankytketty johto-osuus											
C - Epäselektiivinen sulakekoko					G - Liittymisjohto											
D - Rinnankytkennän rakennevirhe					H - I > taloudellinen rajavirta											

Liitteet

Yleistiedot

Huomautus

Tekniset tiedot

Kunnossapitotiedot +

Sähköiset tiedot

Mittauseriä

Vapaat attribuutit -lista +

Mitoitusteho (kVA)

500.000

Ensiöpuolen mitoitusjännite (V)

20500

Toisiopuolen mitoitusjännite (V)

410

Laskentajännite (V)

0

Kuormitushäviöt (W)

5136

Oikosulkuresistanssi (%)

1.027

Oikosulkuimpedanssi (%)

4.500

Tyhjäkäyntihäviöt P0 (W)

762

Tyhjäkäyntihäviöt Q0 (var)

0

Väliottokytkin

Asento

Ei määritely

Asentojen lukumäärä

0

Portaan koko (%)

0.000

Kytkentäryhmä

DYN11

Tyhjäkäyntivirta (%)

0.800

Nollaresistanssi (%)

0.000

Nollaimpedanssi (%)

0.000

OK

Hyväksy

Peruuta

Ohje

LIITE F DRAKA OY:N JOHTAVUUSTIEDOT AMKA- JA AXMK-KAAPELEILLE



Riippukierrekaapelit

PE-eristeinen 1 kV riippukierrekaapeli

AMKA 0,6/1 kV

OMINAISUUDET

Johtimien lukumäärä ja poikkipinta n x mm ²	Johtimien maks. resistanssi			Induktanssi mH/km
	Vaihejohdin		Kannatin	
	20 °C, DC ohm/km	70 °C, AC ohm/km	20 °C, DC ohm/km	
AMKA 1x16+25 1kV	1,91	2,3	1,38	0,29
AMKA 1x16+35 1kV	1,91	2,3	0,986	0,29
AMKA 3x16+25 1kV	1,91	2,3	1,38	0,35
AMKA 3x16+35 1kV	1,91	2,3	0,986	0,35
AMKA 3x25+35 1kV	1,20	1,4	0,986	0,34
AMKA 3x35+50 1kV	0,868	1,0	0,720	0,34
AMKA 3x35+70 1kV	0,868	1,0	0,493	0,34
AMKA 3x50+70 1kV	0,641	0,77	0,493	0,33
AMKA 3x70+95 1kV	0,443	0,53	0,363	0,31
AMKA 3x95+95 1kV	0,320	0,39	0,363	0,31
AMKA 3x120+95 1kV	0,253	0,31	0,363	0,30



Voimakaapelit 0,6/1 kV alumiini

1 kV voimakaapeli

AXMK 0,6/1 kV

OMINAISUUDET

Johtimien lukumäärä ja poikkipinta n x mm ²	Johtimien maks. resistanssi			Induktanssi 2) mH/km	Käyttö- kapasitanssi 3) µF/km
	Vaihejohtimet		PEN-johdin		
	20°C, DC ohm/km	70°C, AC ohm/km	20°C, DC ohm/km		
AXMK 4x16 S AN 1 kV	1,91	2,3	1,91	0,29	0,30
AXMK 4x25 S AN 1 kV	1,20	1,5	1,20	0,28	0,29
AXMK 4x35 S AN 1 kV	0,868	1,0	0,868	0,28	0,29
AXMK 4x50 S AN 1 kV	0,641	0,77	0,641	0,28	0,29
AXMK 4x70 S AN 1 kV	0,443	0,53	0,443	0,27	0,29
AXMK 4x95 S AN 1 kV	0,320	0,39	0,320	0,27	0,29
AXMK 4x120 S AN 1 kV	0,253	0,31	0,253	0,26	0,28
AXMK 4x150 S AN 1 kV	0,206	0,25	0,206	0,26	0,28
AXMK 4x185 S AN 1 kV	0,164	0,20	0,164	0,26	0,28
AXMK 4x240 S AN 1 kV	0,125	0,16	0,125	0,25	0,27
AXMK 4x300 S AN 1 kV	0,100	0,13	0,100	0,25	0,26